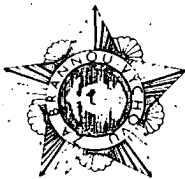


NOSITEL
VYZNAMENÁNÍ
ZA BRANNOU
VÝCHOVU
I. A II. STUPNĚ



ŘADA PRO KONSTRUKTÉRY

ČASOPIS PRO ELEKTRONIKU
A AMATÉRSKÉ VYSÍLÁNÍ
ROČNÍK XXXV/1986 © ČÍSLO 6

V TOMTO SEŠITĚ

Svazarm včera a dnes (dokončení)	201
REPRODUKCE STEREOFONNÍHO SIGNÁLU	
1. Úvod	202
Směrové slyšení	202
Stereofonní reprodukce	203
2. Možnosti zapojení reproduktorových soustav se společnou hlubokotónovou jednotkou	204
Zapojení typu A až F	204
3. Ozvučnice hlubokotónových jednotek	205
Výhybky hlubokotónových jednotek	206
4. Hlubokotónové jednotky – praktické provedení	206
Jednotka o objemu 35 dm ³	207
o objemu 38 dm ³	209
o objemu 66 dm ³	210
o objemu 78 dm ³	212
o objemu 79 dm ³	213
Hlubokotónová jednotka s malým zkreslením	215
5. Reprodukční soustavy malého objemu	216
Jednotka o objemu 2,7 dm ³	216
o objemu 4 dm ³	218
o objemu 5,5 dm ³	219
o objemu 9 dm ³	220
o objemu 12 dm ³	221
6. Třípásmová soustava o objemu 37 dm ³	221
7. Stereofonní sluchátka a jejich vlastnosti	225
Tuzemská sluchátka	226
Zahraniční sluchátka	227
8. Akustická měření	230
9. Závěr	231
Návrh rozhlasového přijímače (dokončení z minulého čísla)	232
Inzerce	240

AMATÉRSKÉ RADIO ŘADA B

Vydává ÚV Svazarmu ve vydavatelském ústavu NASE VOJSKO, Vladislavova 26, 133 66 Praha 1, tel. 26 06 51-7. Šéfredaktor ing. Jan Klabal. Redakční radu řídí ing. J. T. Hyán. Redaktor L. Kalousek, OK1FAC. Redakce Jungmannova 24, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51-7, šéfredaktor linka 354, redaktor linka 353, sekretářka linka 355. Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 5 Kčs, pololetní předplatné 15 Kčs. Rozšiřuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil vydavatelský ústav NASE VOJSKO, administrace Vladislavova 26, Praha 1. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS, ústřední expedice a dovoz tisku, závod 01, Kačkova 9, 160 00 Praha 6. Tiskne NASE VOJSKO, n. p., závod 08, 160 05 Praha 6, Vlastina ulice č. 889/23. Za původnost a správnost příspěvků odpovídá autor. Návštěvy v redakci a telefonické dotazy po 14. hodině. Číslo indexu 46 044.

Toto číslo má vyjít podle plánu 25. 11. 1986.
© Vydavatelský ústav NASE VOJSKO.

SVAZARM VČERA A DNES

(Dokončení z č. 5)

Dále se předseda ÚV Svazarmu, generálporučík Václav Horáček, ve své zprávě o výsledcích práce Svazarmu při plnění linie XVI. sjezdu KSČ a úkolech svazarmovských orgánů a organizací po XVII. sjezdu zabýval tím, jak byly splněny záměry a cíle strany a jak je plnit v současnosti a v nejbližší budoucnosti. Uvedl kromě jiného, že požadavkem principiální povahy zůstává rozhodné zdokonalení obsahu a stylu řídicí, výchovné, kádrové a odborné metodické činnosti, soustředěné ve prospěch základních článků Svazarmu. Při této činnosti je třeba uplatňovat všechny pokrokové zkušenosti a nové vědeckotechnické poznatky, volit efektivní přístupy a cesty k masovějšímu a účinnějšímu branně výchovnému působení mezi pracujícími a mládeží. Přitom se ovšem musí sledovat vysoká hospodárnost a efektivní využívání vlastních i přidělených finančních a materiálních prostředků. Především se musí aktivněji hledat nové materiální a finanční zdroje pro zájmové brannou činnost, pro provoz a účelné využívání svazarmovských a dalších zařízení, prostorů, kluboven a dílen k masovějšímu branně výchovnému působení Svazarmu. V této souvislosti vzpomínal i nutnosti v zájmu lepšího plnění úkolů upevňovat vztahy se všemi, kteří mají plnit úkoly v JSBPO, v branné propagandě a popularizaci ČSLA, prostředkem upevňování vztahů by měly být i uzavřené dohody o metodické úloze a jiné pomoci zejména se SSM a jeho pionýrskou organizací, ČSTV, ROH a se školami.

Další statě zprávy byly věnovány politicko-výchovné práci a s ní související výchově k hrdosti na socialistickou vlast. Jak prohlásil předseda ÚV Svazarmu, v této oblasti máme ke spokojenosti ještě daleko. Zatím převažující politicko-výchovná statistika by měla ustoupit hodnocení politicko-výchovné práce podle jejího přínosu k politicko-brannému vědomí, k iniciativní činnosti a aktivnímu vztahu členů k branným úkolům, k politice strany a k plnění sociálně ekonomických úkolů na pracovišti. Dobrým pomocníkem v politicko-výchovné činnosti by se mohly stát i sdělovací prostředky, které by měly informovat o nejlepších zkušenostech z politicko-výchovné práce, o jejich hlavních směrech, formách a řízení. Stejně tak by bylo vhodné, kdyby se uveřejňovaly i příčiny nedostatků v této oblasti s východisky k nápravě.

Jedním z hlavních požadavků na naši organizaci byl a je požadavek masového branně výchovného vlivu Svazarmu, což předpokládá cílevědomější a usilovnější využívat spontánního zájmu o jednotlivé odborné činnosti a rozvíjet je žádoucím směrem, neboť všechny branně technické sporty a odbornosti pěstují aktivní vztah k technice, rozšiřují technické myšlení a tvořivost, dovednosti a znalosti

potřebné jak k práci, tak pro službu v armádě, pro brannou připravenost. Zde se předseda ÚV Svazarmu zmínil i o radioamatérství a elektronice. Uvedl, že se zvýšil počet členů, zájem mládeže o radiový orientační běh a vůbec podíl odborností na přípravě branců – spojovacích odborníků. Pokud jde o elektroniku, má na mnoha místech široký, schopný a nadaný aktiv a vcelku dobré materiální zázemí. Prudký rozvoj a změny v této oblasti však vyžadují, aby byla svazarmovská elektronika rozvíjena v plném souladu branného poslání a ekonomických možností organizace, aby za podpory rad odborností elektronika rychleji pronikala do řízení, výcviku branců a do všech odborností. I zde je však třeba účelně koordinovat postup v rozvoji se SSM a jeho pionýrskou organizací, se školami, ROH atd. v duchu platných rozhodnutí vlády. Plnění koncepce odbornosti a náplň práce krajských kabinetů elektroniky je třeba ovšem vidět v uvedeném žádoucím směru.

Složitě byly a jsou i otázky materiálně technického zabezpečení činnosti Svazarmu a jeho odborností. I když se materiálně technická základna pro činnost většiny odborností a plnění úkolů branné přípravy rozšiřila, chybí v některých odbornostech základní materiály, jako např. v elektronice a radioamatérství. Tyto potíže se musí řešit ve spolupráci s orgány vlády, s rezorty a výrobci, aby bylo dosaženo většího souladu mezi požadavky Svazarmu a jejich základním krytím. Opět je třeba zdůraznit, že jen maximální hospodárnost, promyšlené využívání prostředků a financí, lepší údržba a ošetřování všech zařízení může přinést požadované výsledky.

Aby mohly být poslední jmenované úkoly splněny, je třeba skoncovat na krajských výborech a na republikových výborech s administrativními přístupy. Předním úkolem výborů je upevňovat vnitřní život stávajících základních organizací a jejich rozmanitou výchovnou, výcvikovou a zájmovou brannou činnost, cílevědomě usilovat o to, aby stále větší počet základních organizací byl skutečným střediskem branně výchovné činnosti.

Zkvalitnit se musí v základních organizacích i individuální práce se členy a jejich uplatnění. Řešit příčiny nezájmu či pasivity je možné jen přes konkrétní práci s jednotlivci, přes využití jejich schopností a zálib – tím lze aktivizovat celou členskou základnu. Ovšem ti, co ztratili spojení se základními organizacemi, neplní dlouhodobé základní povinnosti ani přes jednání s námi, nemají, jak praví Směrnice pro členské otázky, v řadách Svazarmu co dělat. Práva a povinnosti pracovat v organizaci,



platit příspěvky a podílet se na plnění úkolů platí i po úpravě stanov, je však třeba přihlížet k tomu, že každý má jiné možnosti a předpoklady.

A na závěr slova předsedy ÚV Svazarmu:

Politickoorganizační a propagační práce se závěry XVII. sjezdu KSČ bude jistě dlouhodobější záležitostí. Stále se k nim budeme vracet, promýšlet a konfrontovat s praxí, výsledky a přístupy, obnovovat si jejich smysl v jednotě s požadavky VII. sjezdu a následnými plény ústředního výboru Svazarmu. Proto i v novém učebním roce branné politického vzdělávání, masové politické práce a školení kádrů počítáme s dalším studiem a propagací, zejména vojenskopolitických otázek sjezdu a požadavků na práci společenských organizací. Pro tuto činnost vydá ústřední výbor i příslušné teze.

Tento přístup ale neznamená, že můžeme otálet s plněním sjezdových úkolů

rozpracovaných do dokumentů dnešního společného zasedání ústředního výboru a republikových ústředních výborů. Vodítkem pro nás jsou slova vyjádřená generálním tajemníkem ÚV KSČ s. Husákem na závěr XVII. sjezdu KSČ, že „tím hlavním nyní je s plnou energií a rozhodností přikročit bezodkladně a všude k důsledné realizaci úkolů, které sjezd přijal. Jde o to, aby se cíle a záměry sjezdu staly zdrojem širokého proudu konkrétních činů, které budou v každém článku naší společnosti znamenat pevnou cestu kupředu, přinášet praktické výsledky.“ Převáděno do naší řeči to znamená kvalitnější provádět přípravu branců, na vysoké ideové, propagační a odborné úrovni uspořádat všechny místní branné sportovní akce, vrcholné závody a mezinárodní soutěže konané v ČSSR.

Všechno co děláme letos a budeme dělat v příštích letech by mělo být prochnuto duchem činnorodého socialistického vlastenectví a internacionalismu, odpovědného vztahu a praktické podpory vnitřní a zahraniční politiky KSČ a státu.

Významnou příležitostí dobře se prezentovat dosaženými výsledky práce, ukázat angažovanou úlohu a činnost Svazarmu ve společnosti je pro nás nadcházející 35. výročí jejího vzniku. Věci cti a odpovědnosti každého kolektivu by mělo být kvalitní splnění přijatých socialistických závazků na jeho počest.

Hlavním měřítkem našeho poctivého vztahu ke Komunistické straně Československa, jejímu politickému programu přijatému na XVII. sjezdu strany a hrdoosti na příslušnost k branné organizaci učiníme nové, tvůrčí činy a výsledky v plnění úkolů branné výchovy, vojenské připravenosti naší země v pevném svazku se státy Varšavské smlouvy, jejich lidem, armádami a bratrskými brannými organizacemi, v přínosu k rozvoji a obraně naší vlasti – ČSSR.

REPRODUKCE STEREOFONNÍHO SIGNÁLU

Ing. Jaroslav Bárta, Ing. Mirčo Jončev

1. Úvod

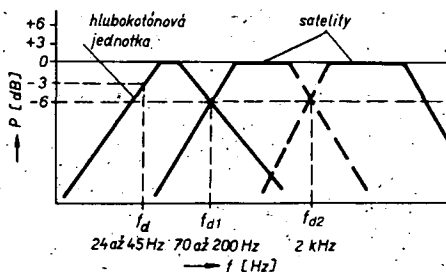
Reproduktorová soustava je posledním článkem elektroakustického řetězce. Jejím velmi náročným úkolem je přeměnit elektrický nízkofrekvenční signál z výkonového zesilovače na akustický signál, vnímaný posluchačem, co nejvěrněji vzhledem k originálnímu obrazu v místě jeho vzniku. Ani současná pokročilá technika nenašla konstrukční řešení reproduktoru, který by mohl věrně přenést celé kmitočtové pásmo, slyšitelné při původním zvukovém obrazu v koncertním sále. Dokonalý přenos nízkých tónů (varhany, kontrabas) vyžaduje reproduktor o velkém průměru membrány, s dostatečnou poddajností kmitacího systému, který umožňuje velký rozkmit membrány. Takový reproduktor má ovšem velkou hmotu kmitacího systému, a proto nemůže vyzařovat vysoké tóny s potřebnou účinností a požadovanou směrovou charakteristikou. Naopak účinné vyzařování vysokých tónů vyžaduje konstruovat reproduktor malých rozměrů, s malou hmotou kmitacího systému, který ovšem z fyzikálních důvodů nemůže s potřebnou účinností vyzařovat nízké tóny.

Sebedokonalější jediná reproduktorová soustava nemůže vytvořit dojem bezprostředního poslechu, protože bude vždy chybět prostorová orientace, pokud jde o rozložení jednotlivých zdrojů akustického signálu. Prostorovou orientaci zajistíme pouze stereofonní reprodukcí signálu. Nejjednodušší a zároveň nejpoužívanější je dvoukanálová stereofonní reprodukce, pro jejíž realizaci používáme dvě reproduktorové soustavy.

V poslední době se v technické dokumentaci zahraničních výrobců kromě klasických pasívních nebo aktivních reproduktorových soustav, určených pro stereofonní reprodukci, objevují reproduk-

torové kombinace se společnou hlubokotónovou jednotkou, zvanou *subwoofer*. Jak vyplývá ze samotného názvu těchto reproduktorových soustav, jde o to, vytvořit společný reprodukční kanál pro zpracování signálů nízkých kmitočtů. Jednotlivé způsoby vytvoření společného (monofonního) signálu budou popsány v samostatné kapitole.

Hlubokotónové jednotky (subwoofer) o objemu 25 až 200 dm³ jsou určeny pro přenos akustických signálů od asi 25 až 45 Hz (podle použitého hlubokotónového reproduktoru a objemu ozvučnice) do kmitočtu $f_{d1} = 70$ až 200 Hz. Od kmitočtu f_{d1} pracují dvě reproduktorové soustavy menšího objemu (2 až 20 dm³), tzv. *satelity*, které jsou zpravidla řešeny jako dvou-pásmové a přenášejí zbývající část akustického pásma, tj. signály až o kmitočtech 18 až 20 kHz. Tyto soustavy zabezpečují stereofonní reprodukci signálu. Náznorné rozdělení akustického pásma pro jednotlivé soustavy je na obr. 1. Vzájemným



Obr. 1. Rozdělení akustického pásma mezi hlubokotónovou jednotku a satelity

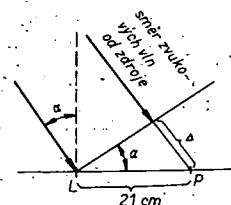
propojením hlubokotónové jednotky se dvěma reproduktorovými soustavami menšího objemu vzniká stereofonní reprodukční zařízení nové koncepce.

Pro názornější pochopení činnosti výše popsaných reproduktorových soustav si osvětlíme základní fyzikální principy směrového slyšení, všesměrového účinku hlubokotónových reproduktorů a stereofonní reprodukce.

Směrové slyšení

Směrové slyšení je komplexní děj, přinášející informaci o umístění zvukového zdroje v prostoru a to určením směru a odhadem vzdálenosti. Je založeno na binaurálním slyšení (slyšení oběma ušima), přičemž se uplatňuje celá řada činitelů. Je-li zvukový zdroj stranou od posluchače, přichází zvuk k jednomu uchu dříve než k druhému. Čím více je zdroj zvuku stranou vzhledem k posluchači, tím větší je časový rozdíl v příjmu zvukových vln, které přicházejí do pravého a levého ucha a tím silnější je posluchačův pocit, že je zdroj zvuku vychýlen z roviny souměrnosti obou uší. Citlivěji dovedeme zjistit, je-li od nás vlevo nebo vpravo, než je-li nad námi nebo pod námi.

U krátce trvajících zvukových signálů je pro určení rozhodující časový rozdíl Δt mezi okamžiky, kdy zvukový signál dojde k levému uchu L a pravému uchu P (obr. 2). Je-li $\Delta t = 0$, leží zdroj zvuku ve střední rovině. Je-li $\Delta v = 21$ cm (průměrná vzdálenost uší) a je-li zdroj zvuku vpravo nebo vlevo na prodloužené úsečce LP, je časové zpoždění mezi body L a P 0,6 ms pro rychlost šíření zvuku ve vzduchu 340 m/s. Člověk je schopen rozpoznat při sledu krátkých impulsů časový rozdíl ještě 50 μ s, tedy velmi malý rozdíl.



Obr. 2. Vliv polohy zdroje při dopadu zvukových vln do levého a pravého ucha

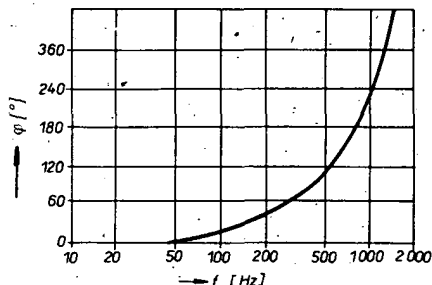
Při déle trvajících zvucích se musí počítat časová diference tak, že se mění rozdíl mezi okamžiky, ve kterých se v levém a v pravém uchu objevuje signál

stejně fáze. Fázový úhel mezi signály, přicházejícími do levého a pravého ucha, je ve stupních dán vztahem

$$\varphi = \frac{360\Delta}{\lambda}$$

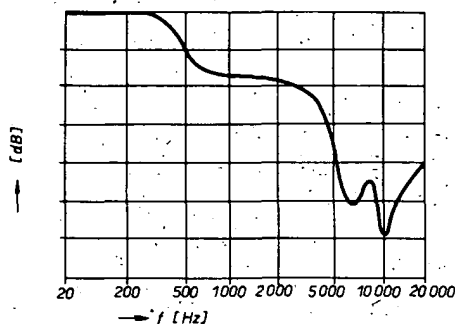
kde Δ je rozdíl vzdálenosti zdroje a „příjmačů“ signálu a λ vlnová délka přijímaného signálu.

Na obr. 3 vidíme, že se fázový rozdíl zvětšuje se zvyšujícím se kmitočtem. Na nízkých kmitočtech je malý a můžeme ho tedy zanedbat.



Obr. 3. Fázový rozdíl zvukové vlny v levém a pravém uchu v závislosti na kmitočtu při dopadu zvukové vlny ze strany

Je-li akustický zdroj umístěn ve střední rovině, dopadá zvuková energie do obou uší ve stejné intenzitě. Odchýlí-li se od střední roviny, je intenzita signálu v každém uchu jiná a zdroj zvuku je lokalizován ve směru větší intenzity. Rozdíl intenzit je způsoben jednak tím, že ucho přivrácené ke zdroji je k němu blíže (pro blízké zdroje), a jednak akustickým stínem hlavy. Akustický stín se může uplatnit jen u tónů vysokých, pro něž je hlava dostatečnou překážkou, tj. v případech, kdy se vlnová délka blíží nebo je menší než rozměr hlavy. Tóny do 200 Hz ze vzdálených zdrojů přicházejí do obou uší se stejnou intenzitou. Jak je patrné z obr. 4, rozdíl intenzit se projevuje zejména u signálů vysokých kmitočtů. Protože je větší



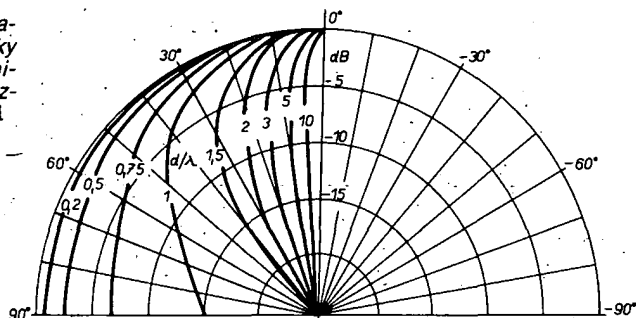
Obr. 4. Rozdíl intenzit zvuku v levém a pravém uchu při zvukové vlně přicházející ze strany jednoho ucha

na stereofonních snímků kvůli možnosti monofonního přehrávání pořízena tzv. intenzivní nahrávkou (chybí informace o fázi a časovém zpoždění), je u nich směrová informace pro nízké kmitočty prakticky potlačena. Nic se proto nestane, když její přenos zanedbáme i na straně reprodukce, zvláště přinese-li to ekonomické nebo jiné praktické výhody.

Všesměrový účinek reproduktoru

Z hlediska elektroakustických vysílačů je možné považovat hlubokotónový reproduktor za kruhovou, pístově kmitající desku, umístěnou v nekonečné ozvučnici. Budeme-li řešit hlubokotónovou jednot-

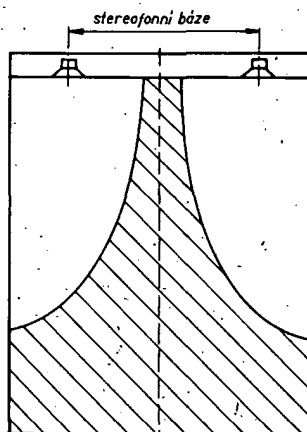
Obr. 5. Směrové vyzařovací charakteristiky kruhové pístové kmitající desky při různých poměrech d/λ



ku (subwoofer) s dělicím kmitočtem $f_{d1} = 200$ Hz, pak pro ucelenou řadu reproduktorů TESLA s aktivními průměry membrán $d = 165$ až 390 mm vychází poměr $d/\lambda = 0,1$ až 0,22. Ze směrových charakteristik kruhové pístové kmitající desky, umístěné v nekonečné ozvučnici, jak náznorně vidíme na obr. 5, lze při uvedených poměrech s rezervou považovat do dělicího kmitočtu $f_{d1} = 200$ Hz hlubokotónový reproduktor za všesměrový zářič. Z toho tedy vyplývá, že se v žádném případě nemůže porušit stereofonní vjem v oblasti optimálního poslechu.

Stereofonní reprodukce

Stereofonní reprodukce má své zvláštní podmínky, k nimž musíme pro zachování kvalitního poslechu přihlížet. Patří sem především okolnost, že se oblast optimálního poslechu nerozprostírá po celém půdorysu poslechového prostoru, ale je zhruba vymezena tvarem naznačeným na obr. 6.



Obr. 6. Oblast optimálního poslechu (vyčárkovaná plocha)

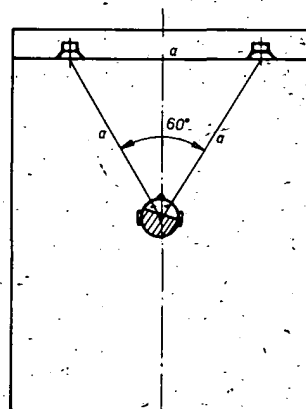
Základní tvar optimální poslechové oblasti a přesnost směrové lokalizace můžeme ovlivnit šířkou báze, volbou reproduktorových soustav a jejich natáčením. Pro změnu optimální poslechové oblasti změnou šířky báze platí obecně, že čím větší báze, tím širší optimální poslechová oblast. Při běžné šířce báze v domácích poslechových prostorech (asi 2 až 4 m) je optimální poslechová oblast při poměrně malém rozestupu reproduktorových soustav velmi úzká a nemusí někdy dosáhnout ani ve větší vzdálenosti samé šířky báze. Hranice optimální oblasti poslechu mají základní tvar hyperboly.

Rozšíření oblasti optimálního poslechu dosáhneme také vhodnou volbou reproduktorových soustav. Platí, že čím je soustava lépe směrově vyrovnána, tím širšího poslechového prostoru dosáhneme.

Do jisté míry má na šířku poslechové oblasti vliv i změna úhlu mezi oběma

reproduktorovými soustavami. Za určitých podmínek platí, že vzájemné odklonění reproduktorových soustav dává širší báze, přičemž se rozšiřuje i oblast optimálního poslechu. Tato závislost není však jednoznačná, záleží na mnoha činitelích (směrových charakteristik, šířce poslechového prostoru a na jeho akustických vlastnostech atd.). Je tedy třeba za daných podmínek vyzkoušet a na místě subjektivně posoudit, pod jakým úhlem mají být reproduktorové soustavy orientovány vzhledem k posluchači.

Je známo, že nejpřesnější směrové lokalizace dosáhneme, bude-li posluchač naslouchat právě v geometrické ose reproduktorových soustav obou kanálů. Kvalita poslechu a přesnost směrové lokalizace bude záviset i na vzdálenosti od reproduktorových soustav. Zde platí, že místo optimálního poslechu tvoří s oběma reproduktorovými soustavami rovnostranný trojúhelník (obr. 7).



Obr. 7. Místo optimálního poslechu

Jestliže úhel, který svírají přímky, procházející místem poslechu a body, v nichž jsou umístěny reproduktory, je následkem přílišné vzdálenosti od báze menší než 45°, dochází již k částečné ztrátě prostorové informace. Je-li naopak úhel příliš velký, objevuje se uprostřed poslechového prostoru hluchý prostor, v němž lze lokalizovat pouze signály středních kmitočtů a ostatní jsou lokalizovány v re-produktorových soustavách, přeskakují z jedné do druhé („pingpongový efekt“).

Stejně zásady pro rozmístění reproduktorových soustav platí i pro reproduktorové kombinace se společnou hlubokotónovou jednotkou jen s tím rozdílem, že samostatná hlubokotónová jednotka (subwoofer) může být díky všesměrovosti hlubokotónového reproduktoru a správné volbě dělicího kmitočtu (do 200 Hz) umístěna teoreticky kdekoliv v poslecho-

vém prostoru, dáváme však přednost poloze v blízkosti satelitních jednotek.

V případě, že bude hlubokotónová jednotka příliš daleko od obou satelitů, může vzniknout fázové zpoždění signálů mezi jednotlivými jednotkami. Stereofonní lokalizaci zajišťují dvě reproduktorové soustavy malého objemu (satelity), vyzařující signály středních a vysokých kmitů.

Nejen teoretické zdůvodnění užití reproduktorových kombinací se společnou hlubokotónovou jednotkou, které jsme se v omezeném a zjednodušeném pohledu pokusili popsat, ale i velké množství praktických experimentálních prací svědčí o použitelnosti této ekonomicky výhodné koncepce.

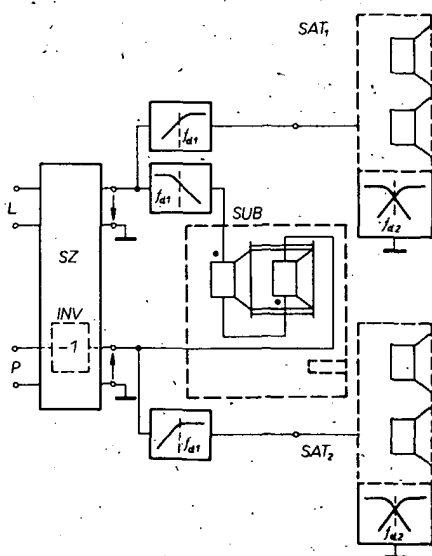
2. Možnosti zapojení reproduktorových soustav se společnou hlubokotónovou jednotkou

Vzájemné rozdíly mezi různými typy reproduktorových soustav se společnou hlubokotónovou jednotkou spatřujeme zejména v tom, jak je společný (monofonní) signál pro společnou hlubokotónovou jednotku vytvořen. Rozlišujeme dva odlišné způsoby, a to elektrické a akustické sčítání signálů levého a pravého kanálu stereofonního zesilovače.

Elektrický způsob spočívá v použití aditivního členu, kterým jsou v konkrétním případě rezistory nebo autotransformátory. Po sečtení signálů, kmitočtovém omezení dolní propusti a zesílení je signál přiváděn na jeden nebo dvojici hlubokotónových reproduktorů, zapojených paralelně nebo sériově.

Druhý způsob je akustický – po kmitočtovém omezení signálů levého a pravého kanálu stereofonního zesilovače dolními propustmi přivádíme ke každému hlubokotónovému reproduktoru signál zvlášť a vzájemnou interferencí se signály z každého reproduktoru akusticky sčítají.

Dále je podstatné, zda zvolíme pasivní nebo aktivní reproduktorovou kombinaci. Na výhody a nevýhody jednotlivých možností zapojení budou čtenáři upozorněni v následujícím přehledu blokových zapo-



Obr. 8. Blokové schéma zapojení kombinace typu A

jení reproduktorových kombinací se společnou hlubokotónovou jednotkou.

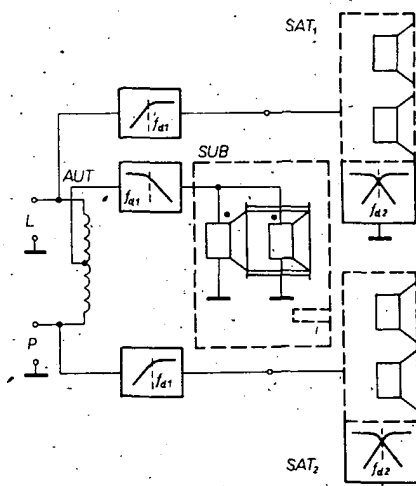
2.1. Zapojení typu A

Zapojení tohoto typu, jehož blokové schéma je na obr. 8, se vyznačuje tím, že pro správnou činnost je nutné u jednoho kanálu stereofonního zesilovače otočit fázi signálu, neboť hlubokotónové reproduktory jsou zapojeny mezi „živé“ konce výstupu stereofonního zesilovače. To znamená, že je nutné doplnit běžný stereofonní zesilovač o elektronický obvod – invertor (INV). Z výstupu upraveného zesilovače (SZ) se přes pasivní dolní propust napájí jednak hlubokotónová jednotka (SUB) a přes horní propusti dvojice satelitů (SAT 1 a SAT 2). Na tomto místě je nutné upozornit, že z důvodů správného napájení hlubokotónové jednotky je vzájemně otočena fáze signálu přicházejícího do satelitů. Pro zachování stereofonní lokalizace je tedy nutné u jednoho z přívodů signálu k satelitům otočit polaritu přívodu. Hlubokotónová jednotka může být osazena jedním nebo dvěma reproduktory, podle požadavku jmenovité impedance, zapojenými sériově nebo paralelně. Z praktického hlediska má nejvýhodnější vlastnosti uspořádání reproduktorů do tandemu (poloviční objem ozvučnice při stejném dolním mezním kmitočtu a dvojnásobná zatížitelnost ve srovnání s jedním reproduktorem). Uspořádání reproduktorů do tandemu bude popsáno blíže v dalším textu.

Jako nevýhodu tohoto zapojení lze označit to, že je nutné upravovat běžný stereofonní zesilovač a také to, že při nesterétnosti hlubokotónové jednotky a satelitů zapojení neumožňuje regulovat jejich výstupní signál na stejnou úroveň.

2.2 Zapojení typu B

Toto zapojení odstraňuje největší nevýhodu předešlého typu, to je nutnost doplnit běžný stereofonní zesilovač o invertor. Na výstup běžného stereofonního zesilovače je připojen sčítací člen pro vytvoření společného signálu, napájejícího hlubokotónovou jednotku (obr. 9). V daném případě je použit autotransformátor (AUT). Sečtené signály z levého a pravého kanálu jsou přes dolní propust přiváděny na hlubokotónovou jednotku. Z výstupu stereofonního zesilovače je signál přiva-



Obr. 9. Blokové schéma zapojení kombinace typu B

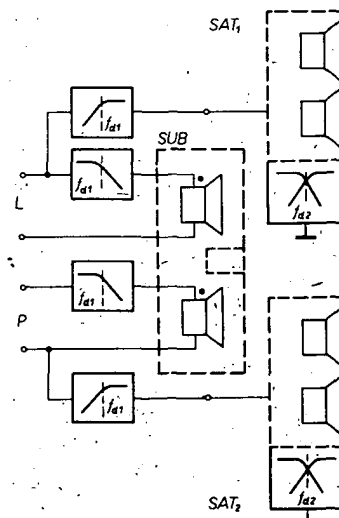
děn přes horní propusti k satelitům (SAT 1 a SAT 2).

Pro zachování správných impedančních poměrů v reprodukčním zařízení musí být impedance hlubokotónové jednotky poloviční než je impedance satelitů.

Nedostatkem tohoto zapojení je to, že v případě různé citlivosti satelitních jednotek a hlubokotónové jednotky neumožňuje regulovat výstupní signál na stejnou úroveň.

2.3 Zapojení typu C

Z obvodového hlediska je toto zapojení nejjednodušší, liší se však zásadně od předchozích v tom, že součtový signál pro napájení hlubokotónové jednotky je vytvořen akusticky složením signálů levého



Obr. 10. Blokové schéma zapojení kombinace typu C

a pravého kanálu přivedeného k jednotlivým reproduktorům umístěným ve společné ozvučnici vedle sebe. Odpadá tedy sčítací prvek předešlého typu (viz obr. 9), neboť u obou předchozích typů se součtový signál pro napájení hlubokotónové jednotky vytvářel elektricky.

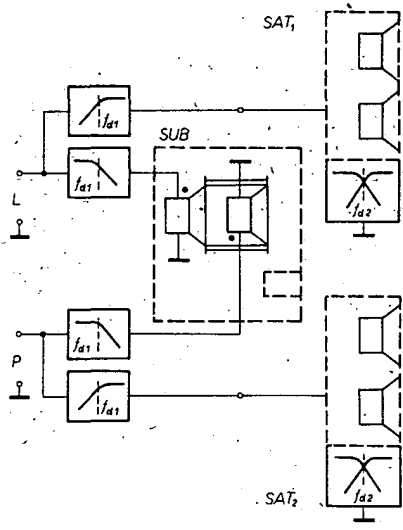
Z výstupu levého a pravého kanálu běžného stereofonního zesilovače se signál přivádí přes dolní propusti k jednotlivým reproduktorům, umístěným v hlubokotónové jednotce (SUB). Přes horní propusti prochází signál zároveň k satelitům (SAT 1 a SAT 2 – viz obr. 10).

Z impedančního hlediska musí být impedance hlubokotónových reproduktorů stejná jako impedance satelitních jednotek.

Jako velkou přednost tohoto zapojení lze označit jednoduchost a možnost připojení k jakémukoli stereofonnímu zesilovači. Mezi nevýhodu lze počítat v případě nesterétnosti citlivosti hlubokotónové jednotky a satelitů nemožnost vzájemného vyrovnání. Z konstrukčního hlediska je při požadavku nižšího dolního kmitočtu hlubokotónové jednotky mírnou nevýhodou příliš velký objem ozvučnice. V porovnání s jedním reproduktorem při zachování stejného dolního kmitočtu musí být objem dvojnásobný.

2.4 Zapojení typu D

Toto zapojení je po elektrické stránce shodné s typem C. Rozdíl je pouze z akustického hlediska, neboť místo uspořádání reproduktorů vedle sebe jsou reproduktory umístěny v tandemu (obr. 11). To má



Obr. 11. Blokové schéma zapojení kombinace typu D

velkou výhodou v tom, že potřebný objem hlubokotónové jednotky při stejném dolním kmitočtu je oproti ozvučnici s jedním reproduktorem poloviční.

Zapojení typu C a D lze dále zjednodušit, použijeme-li v satelitní jednotce takový reproduktor, jehož dolní mezní kmitočet je roven dělicímu kmitočtu f_{d1} . Reprodukční tvoří výhybku se strmostí 12 dB/okt a dělicím kmitočtem f_{d1} . Touto úpravou ušetříme poměrně rozměrné tlumivky, které spolu s kondenzátory tvoří horní propusti. K oddělení signálu z levého a pravého kanálu použijeme pouze kondenzátory odpovídající kapacity.

2.5 Zapojení typu E

Z hlediska použitých výhybek (obr. 12) jde o zařízení aktivní. Z principu vytvoření společného signálu pro napájení hlubokotónové jednotky se jedná o součet akustický. Z výstupu levého i pravého kanálu stereofonního předzesilovače (SPZ) je signál přiváděn přes aktivní dolní propusti (ADP) a výkonové zesilovače (VZ) k jednotlivým hlubokotónovým reproduktům. Z výstupů jednotlivých kanálů stereofonního předzesilovače (SPZ) je signál dále přiváděn přes aktivní horní propusti (AHP) a běžný stereofonní výkonový zesilovač (SVZ) (místo něho lze použít dva samostatné výkonové zesilovače) k satelitním jednotkám.

Z konstrukčního hlediska bývají zpravidla výkonové zesilovače (VZ) součástí

hlubokotónové jednotky, takže tvoří samostatné reprodukční zařízení.

Z impedančních požadavků vyplývá, že impedance satelitních jednotek musí být stejná jako impedance jednotlivých hlubokotónových reproduktorů. Díky aktivnímu provedení je výhoda tohoto zapojení oproti předchozím verzím v tom, že lze při nestejně citlivosti jednotek citlivost upravit ovládacími prvky zesilovačů (SVZ) na stejnou úroveň.

2.6 Zapojení typu F

Signál z výstupu obou kanálů stereofonního předzesilovače (SPZ) je veden na sčítací obvod (obr. 13), tvořený dvěma rezistory R. Součtový (monofonní) signál je dále veden přes aktivní dolní propust (ADP) a výkonový zesilovač (VZ) na hlubokotónové reproduktory, zapojené sériově nebo paralelně, umístěné ve společné hlubokotónové jednotce (SUB). Z výstupu obou kanálů stereofonního předzesilovače je signál též veden přes aktivní horní propust (AHP) a stereofonní výkonový zesilovač (SVZ) k satelitním jednotkám (SAT 1 a SAT 2). Na místě stereofonního výkonového zesilovače (SVZ) mohou být použity dva samostatné výkonové zesilovače, které lze vestavět do ozvučnice hlubokotónové jednotky.

Z uvedeného popisu je patrné, že z hlediska typu výhybek jde o aktivní zařízení a z principu vytvoření společného (monofonního) signálu pro hlubokotónovou jednotku o elektrický součet signálů.

Mezi výhody můžeme řadit úsporu jednoho výkonového zesilovače a jedné aktivní dolní propusti oproti zapojení typu E. Možnost nastavit zesílení jednotlivých zesilovačů umožňuje vyrovnat kmitočtové charakteristiky v případě nestejně citlivosti dílčích jednotek (satelitů a subwooferu).

Z impedančních podmínek je třeba upozornit na to, že impedance jednotlivých hlubokotónových reproduktorů musí být v případě „osmiúhlového“ provedení satelitů 4 Ω (sériové spojení). Je-li impedance satelitů 4 Ω , musí být impedance hlubokotónových reproduktorů 8 Ω (paralelní spojení).

Jak je vidět z blokového schématu na obr. 13, jde již o poměrně složité reprodukční zařízení ve srovnání s např. s typy B, C a D, což bylo možno z jistého hlediska označit za nevýhodu.

3. Ozvučnice hlubokotónových jednotek

Vzhledem k lepším přenosovým vlastnostem na nízkých kmitočtech a menšímu nelineárnímu zkreslení v této oblasti používáme pro konstrukci hlubokotónových jednotek bassreflexové ozvučnice. Dále si naznačíme postup návrhu:

Stanovíme rezonanční kmitočet ozvučnice

$$f_{ozv} = f_r \frac{Q_{c,ozv}}{Q_{c,r}} \quad [\text{Hz}; \text{Hz}, -, -] \quad (1),$$

kde f_r je rezonanční kmitočet reproduktoru,

$Q_{c,ozv}$ volíme v rozmezí 0,4 až 0,5,

$Q_{c,r}$ celkový činitel jakosti reproduktoru,

přičemž má být splněna podmínka $f_{ozv}/f_r \approx 0,8$.

Dolní mezní kmitočet jednotky je dán vztahem

$$f_d = f_{ozv} \sqrt{\gamma} \quad (2)$$

kde $\gamma = \frac{m}{m_{a1}}$ je poměr akustické hmotnosti vzduchu V hrdle rezonátoru ozvučnice a hmotnosti systému reproduktoru. Výhodné jsou menší γ ($\gamma \approx 2$), při nichž se účinně využije zmenšení amplitudy membrány v nadrezonanční oblasti ozvučnice. Objem V ozvučnice se pro daný typ reproduktoru s akustickou hmotností systému m_{a1} určí takto:

$$V = \frac{p_0 x}{(2\pi f_d)^2 m_{a1}} \cdot 10^3 = \frac{3,55 \cdot 10^6}{f_d^2 m_{a1}} \quad [\text{dm}^3; \text{Hz}, \text{kg/m}^3] \quad (3),$$

nebo přes ekvivalentní objem V_{ekv} reproduktoru

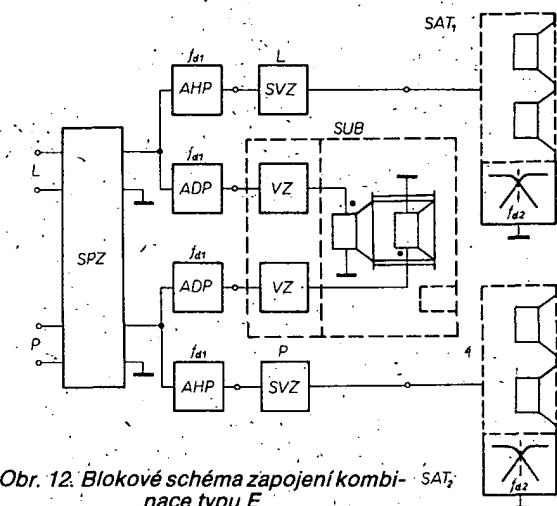
$$V = V_{ekv} \left(\frac{f_r}{f_d} \right)^2 \quad [\text{dm}^3; \text{dm}^3, \text{Hz}, \text{Hz}] \quad (4),$$

Dále určíme prvky bassreflexového rezonátoru. Zvolíme průměr nátrubku D_h [m] a jeho délku stanovíme ze vzorce

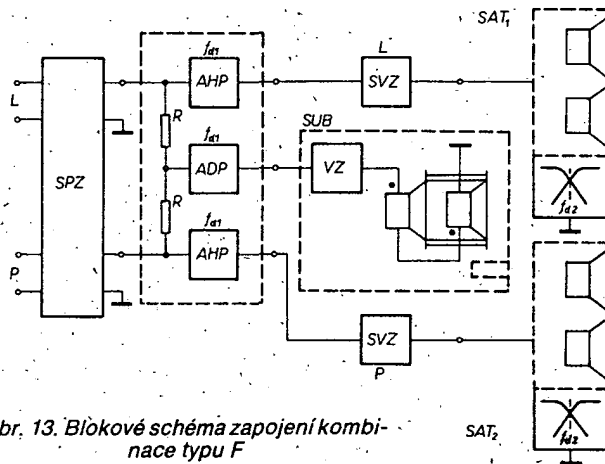
$$l = 0,654 D_h (D_h \cdot m - 1,3) \quad [\text{m}; \text{m}, \text{kg/m}^3] \quad (5),$$

kde $m = \gamma m_{a1}$.

Vzhledem k možnosti vzniku nežádoucích pazvuků v hrdle rezonátoru při velkých rychlostech proudění je účelné



Obr. 12. Blokové schéma zapojení kombinace typu E



Obr. 13. Blokové schéma zapojení kombinace typu F

zkontrolovat rychlost proudění, která by neměla přesáhnout 10 m/s.

Učíme ji ze vztahu

$$v = 1,5 \frac{p_1}{D_n^2 f_{ozv} q^2} \quad [\text{m/s; Pa; m; Hz}] \quad (6)$$

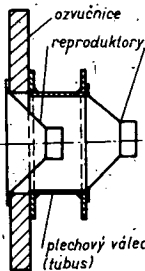
kde $q = \frac{f}{f_{ozv}}$, zpravidla rychlost kontrolujeme při dolním mezním kmitočtu ozvučnice, pak $q = \frac{f_d}{f_{ozv}}$

Za p_1 dosazujeme zpravidla tlak 1 Pa, to odpovídá hladině akustického tlaku 94 dB.

Na závěr zkontrolujeme, jakou citlivost má navrhovaná ozvučnice, citlivost určíme z následujícího vztahu

$$\eta = 52 + 10 \log \frac{f_d^3 V}{Q_{c,ozv} Y} \quad [\text{dB/VA/m; Hz, m}^3, -, -] \quad (7)$$

Na tomto místě se zmíníme o velmi zajímavém uspořádání reproduktorů (popisáno v [25]) s výhodou používaném ve společných hlubokotónových jednotkách. Při volbě reproduktorů bereme ohled na velikost obytné místnosti, kterou chceme ozvučit, na maximální standardní příkon, ale také na rozměry samotné ozvučnice. Vycházíme-li ze stávajících reproduktorů u nás vyráběných, přicházejí v úvahu pro daný účel tři typy. Reprodukory ARN 5604/8, ARN 6604/8 a ARN 8604/8. Zvolíme-li např. hlubokotónový reproduktor střední velikosti typu ARN 6604, je pro dosažení dolního mezního kmitočtu $f_d = 30$ Hz nutný objem ozvučnice 100 dm³. Tak velká ozvučnice je pro běžné bytové prostory neúměrná. Zde se nabízí řešení uspořádat reproduktory do tzv. tandemu, jak je naznačeno



Obr. 14. Tandemové uspořádání reproduktorů

na obr. 14. V uvedeném uspořádání bude objem nutný k získání téhož dolního mezního kmitočtu $f_d = 30$ Hz poloviční, tj. 50 dm³ a maximální možný příkon bude dvojnásobný.

Reprodukory v uvedeném uspořádání se na nízkých kmitočtech chovají vlastně jako systém jediný s dvojnásobnou hmotou membrány a kmitacího systému. Ze vztahu (3) pro objem bassreflexové ozvučnice pak pro potřebný objem ozvučnice s tandemovým uspořádáním reproduktorů vyplývá, že

$$V_T = \frac{3,55 \cdot 10^6}{f_d^2 2m_{a1}} = \frac{V}{2} \quad [\text{dm}^3, \text{Hz, kg/m}^4] \quad (8)$$

Tedy skutečně vychází poloviční objem ozvučnice. Obdobně pomocí vztahu (4) platí pro uspořádání v tandemu, že

$$V_{ekv} = \frac{V_{ekv}}{2}, \text{ pak}$$

$$V_T = \frac{V_{ekv}}{2} \left(\frac{f_r}{f_d} \right)^2 = \frac{V}{2} \quad [\text{dm}^3, \text{dm}^3, \text{Hz, Hz}] \quad (9)$$

Na tomto místě si je třeba uvědomit, že výše popsaným uspořádáním se zmenší citlivost oproti bassreflexové ozvučnici asi o 2,5 až 3 dB. Dosadíme-li do vztahu (7) za objem V poloviční velikost, $V/2$, bude citlivost

$$\eta = 52 + 10 \log \frac{f_d^3 (V/2)}{Q_{c,ozv} Y} \quad [\text{dB/VA/m; Hz, m}^3, -, -] \quad (10)$$

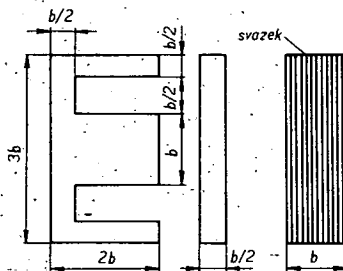
3.1 Prvky pro výhybky hlubokotónových jednotek

Kondenzátory používáme nejčastěji typu MP, TC 451 až 461, TC 651 až 669, TC 471 až 487 aj. Jedná se o krabicové kondenzátory z metalizovaného papíru, které mají poměrně velké rozměry. V některých případech se z hlediska tolerance a menších rozměrů spokojíme i s bipolárními nebo běžnými elektrolytickými kondenzátory, ale běžné elektrolytické kondenzátory opatřujeme z důvodu zachování kapacity jednoduchým obvodem (dioda, odpor) k vytvoření polarizačního napětí. Jako vhodné typy elektrolytických kondenzátorů doporučujeme např. TE 988, TE 986 a TE 990.

Indukčnosti tlumivek do výhybek pro hlubokotónové jednotky jsou řádu desítek milihenry. Vzduchové cívky nelze v tomto případě použít, neboť vycházejí rozměrově velmi velké a spotřeba drátů větších průměrů je značná. Hlubokotónové jednotky přenášejí z energetického hlediska velké výkony, nelze proto v mnoha případech použít ani tlumivky na feritovém jádře, neboť by se přesycovaly. Jako velmi výhodné se ukázalo realizovat tlumivky na jádře, složeném z transformátorových plechů EI.

Dále si ukážeme postup výpočtu tlumivek na jádře složeném z transformátorových plechů EI.

Orientačně určíme šířku b sloupku jádra, které je nakresleno na obr. 15 a zvolíme nejbližší větší normalizovanou šířku plechů EI.



Obr. 15: Rozměrový náčrtk plechu EI

$$b = 3,71 \sqrt{k \frac{L}{R}} \quad [\text{mm; mH, } \Omega] \quad (11)$$

kde k je součinitel plnění a pro lakované vodiče Cu o průměru větším než 0,5 mm je 1,3 až 1,4;

R odpor vinutí cívky (nemá být větší než 1/10 jmenovité impedance hlubokotónové jednotky),

L požadovaná indukčnost. Stanovíme magnetickou vodivost

$$G = \frac{S_1 \mu_0}{\delta_c} \quad [\text{Wb/A; m}^2, \text{m}] \quad (12)$$

kde S_1 je plocha jádra μ_0 1,256 · 10⁻⁶ (permeabilita vakua), δ_c vzduchová mezera (vločka,

vymežující tuto vzduchovou mezera, má poloviční tloušťku, neboť jádro je přerušeno mezerou dvakrát).

Dále určíme počet závitů

$$N = \sqrt{\frac{L}{G}} \quad [-; \text{H, Wb/A}] \quad (13)$$

a průměr drátu

$$d = \sqrt{\frac{S_c}{Nk}} \quad [\text{mm, mm}^2, -, -] \quad (14)$$

kde S_c je plocha cívky. Podle tab. 1 zkontrolujeme, zda se počet závitů na stanovenou šířku b jádra vejde. Odpor vinutí navrhované cívky stanovíme ze vztahu

$$R = \rho N \frac{l_z}{S} \quad [\Omega; \Omega/\text{mm}^2, -, \text{m, mm}^2] \quad (15)$$

l_z je zde délka středního závitů, ρ měrná vodivost použitého vodiče, S průřez vodiče, N počet závitů cívky.

Závěrem je nutné zkontrolovat sycení jádra a přesvědčit se, zda u navrhované cívky nebude jádro přesyceno.

U tlumivky určené do výhybky 1. řádu je sycení

$$B = 0,255 \frac{U}{f_{d1} S_1 N} \quad [\text{T; V, Hz, m}^2, -] \quad (16)$$

u tlumivky pro výhybky 2. řádu je

$$B = 0,45 \frac{U}{f_{d1} S_1 N} \quad [\text{T; V, Hz, m}^2, -] \quad (17)$$

kde U je maximální napětí, přivedené na vstup jednotky, f_{d1} dělicí kmitočet jednotky, S_1 plocha jádra, N počet závitů cívky.

Ani v jednom z uvedených případů by nemělo sycení jádra složeného z transformátorových plechů EI překročit 0,6 T. Potřebné parametry pro výpočet tlumivek jsou shrnuty v tab. 2.

4. Hlubokotónové jednotky – praktické provedení

V této kapitole budou uvedeny kompletní konstrukční podklady pro stavbu hlubokotónových jednotek, včetně popisu zvolené koncepce a naměřených výsledků. Konstrukční popisy ozvučnic jsou řazeny od nejmenších objemů po největší.

Princip vytvoření součtové (monofonní) signálu pro tyto jednotky a způsoby připojení ke stereofonnímu zesilovači a satelitním jednotkám budou uváděny již konkrétně v souladu s tím, co bylo blokově popsáno v kapitole 2.

Bude-li čtenáři vyhovovat po akustické a rozměrové stránce ta která hlubokotónová jednotka, je možné její zapojení, tedy způsob připojení ke stereofonnímu zesilovači a satelitním jednotkám volit podle vlastního uvážení nebo realizačních možností. Například nebude-li se někomu zamlouvat u první uváděné jednotky zapojení typu A, ve kterém se musí stereofonní zesilovač doplnit o inverter, může si zvolit např. jednoduché zapojení typu D. Akustické vlastnosti hlubokotónové jednotky zůstanou zachovány.

Na tomto místě je nutné upozornit též na správný výběr reproduktorů. Aby byly produkty nelineárního zkreslení co nejmenší, jsou u uváděných hlubokotónových jednotek použity bassreflexové o-

Tab. 1. Maximální počet závitů drátu CuL uvedených průměrů na jádrech EI

EI 16×16 mm

Ø drátu [mm]	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Počet závitů	176	132	110	91	75	64	55	46	41

EI 20×20 mm

Ø drátu [mm]	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Počet závitů	288	216	180	150	123	105	90	76	69

EI 25×25 mm

Ø drátu [mm]	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Počet závitů	439	329	274	228	187	159	137	115	104

EI 32×32 mm

Ø drátu [mm]	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Počet závitů	816	612	510	424	347	296	255	214	194

Tab. 2. Údaje pro výpočet tlumiček na jádře EI

Typ plechů	Plocha S_c cívk [cm ²]	Délka l_z stř. závitů [cm]	Průřez S_j jádra [cm ²]
EI 16×16 mm	1,1	8,5	2,43
EI 20×20 mm	1,8	10,5	3,8
EI 25×25 mm	2,7	13,0	5,9
EI 32×32 mm	5,1	17,0	9,7

Pozn.: Údaje o průřezu jádra v prvním sloupci platí pro tloušťku plechů 0,5 mm, v druhém pro plechy tl. 0,35 mm.

zvučnice. Jak je známo z literatury, činitel jakosti reproduktorů vhodných pro tyto typy ozvučnic se musí pohybovat kolem 0,4. U starších reproduktorů typu ARN 664/669 a u prvních vyráběných sérií nových reproduktorů ARN 6604/6608 se činitel jakosti pohyboval okolo 0,5, což lze považovat pro daný účel ještě za přijatelnou velikost. V poslední době se činitel jakosti reproduktorů ARN 6604/6608 zvětšil až na 0,66. Abychom i přesto dosáhli vyrovnaného kmitočtového průběhu na nejnižších kmitočtech, musíme činitel jakosti z této velikosti zmenšit asi na 0,45. To lze udělat použitím akustického odporu v podobě plsti z přírodního materiálu, přilepené zezadu na koš reproduktoru. Použijeme takovou tloušťku a prodyšnost plsti, aby se impedance reproduktoru v rezonanci zmenšila na velikost danou výrazem:

$$Z_r = R_v \left(1 + \frac{Q_{c,r}}{\frac{2\pi f m_r R_v}{(B l)^2} - Q_{c,r}} \right) \quad (18)$$

kde $Q_{c,r}$ je požadovaný činitel jakosti reproduktoru,
 $B l$ součin magnetické indukce a délky vinutí kmitací cívky [T · m],
 f_r rezonanční kmitočet reproduktoru [Hz],
 m_r mechanická hmotnost membrány reproduktoru [kg], $m_r = m_a S^2$,
 R_v ss odpor kmitací cívky [Ω].

Pokud některé z těchto parametrů výrobce neudává, podrobný popis jejich měření je uveden v [4].

4.1 Hlubokotónová jednotka o vnitřním objemu 35 dm³

Návrh vyzářovacích jednotek

Tato jednotka je určena pro přenos nízkých kmitočtů od 35 Hz do 155 Hz. Bassreflexová ozvučnice této hlubokotónové jednotky je osazena dvěma reproduktory ARN 6604, uspořádanými z hlediska menších rozměrů a větší zatížitelnosti do tandemu. Pro optimální návrh této jednotky jsme vycházeli ze změřených parametrů reproduktorů ARN 6604:

imenovitý příkon: $P = 20$ VA,
 špičkový hudební příkon: $P = 40$ VA,
 jmenovitá impedance: $Z = 4$ Ω,
 odpor vinutí kmitací cívky: $R_v = 3,9$ Ω.

akustická hmota kmitacího systému: $m_a = 40$ kg/m³,
 ekvivalentní objem: $V_{ekv} = 83$ dm³,
 rezonanční kmitočet: $f_r = 33$ Hz,
 činitel jakosti celkový: $Q_{c,r} = 0,5$,
 charakteristická citlivost: 89,5 dB/VA/m.

Z uvedených údajů lze stanovit podle (1) rezonanční kmitočet ozvučnice f_{ozv} . V našem případě je 29 Hz. Při daném vnitřním objemu ozvučnice $V = 35$ dm³ je dolní mezní kmitočet $f_d = 35$ Hz. Ze vztahu (2) určíme γ , tj. poměr akustické hmotnosti vzduchu v hrdle rezonátoru ozvučnice a akustické hmotnosti kmitacího systému reproduktoru, která je 1,5.

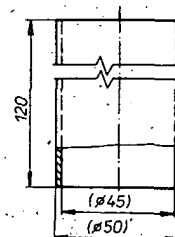
Řešení ozvučnice

Rozměry a konstrukční provedení bassreflexové ozvučnice použité u této hlubokotónové jednotky jsou na obr. 16. Ozvučnice je zhotovena z laťovky o tloušťce 20 mm. Povrchové byla v našem případě ozvučnice upravena dýhováním, ale můžeme ji otápetovat, namořit apod. To však necháme na vlastním vkusu a realizačních možnostech čtenářů.

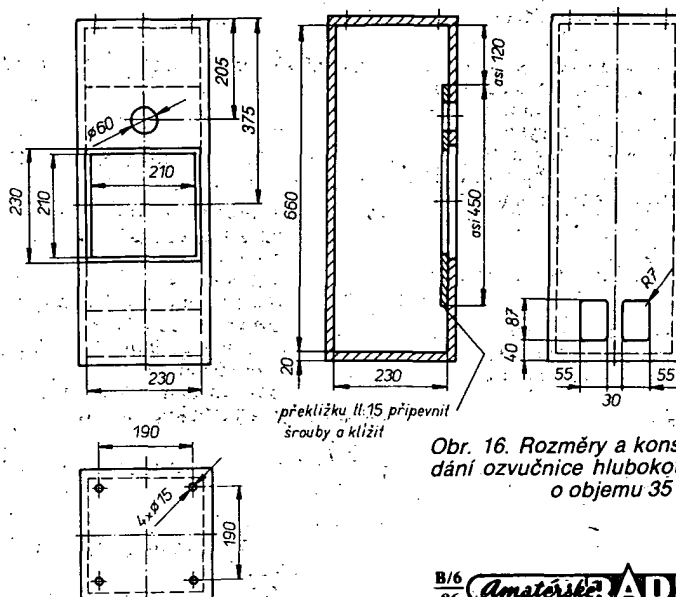
Na dně jsou čtyři díry o Ø 15 mm pro nožky, na nichž bude ozvučnice stát, jejich délku volíme např. podle potřeby stejné výšky ozvučnice jako některého dílu bytové stěny. V zadní stěně v dolní části jsou vestavěny dvě vaničky z plas-

tické hmoty (obr. 16). Na dně vaniček jsou dvě zdičky a dva reproduktorové konektory pro připojení výstupu stereo-fonního zesilovače a dvou malých reproduktorových soustav – satelitů. Před ústím reproduktorů je upevněn perforovaný plech o tloušťce 1 mm. Musí být ovšem dokonale vyztužen např. pásky tlustšího plechu, aby nekmital a nebyl pazvuky rušení reprodukovany signál. Pokud nemáme k dispozici perforovaný plech, můžeme zhotovit rámeček např. z tvrdého dřeva, pokrytý prodyšnou tkaninou.

Bassreflexový rezonátor je realizován z novodurové trubky o průměru 45 mm. Podle vztahu (5) při dosazení za m dvojnásobného údaje (reproduktory v tandemu) dostáváme délku trubky $l = 120$ mm.



Obr. 17. Bassreflexový rezonátor



Obr. 16. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice hlubokotónové jednotky o objemu 35 dm³

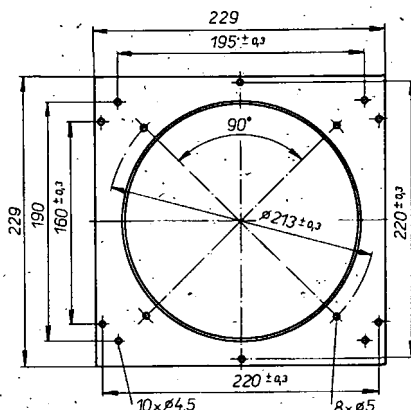
Rychlost vzduchu v hrdle navrhovaného rezonátoru bude menší než 10 m/s a v hrdle nebudou vznikat tedy prouděním vzduchu nežádoucí pažvuky. Rozměry novodurové trubky jsou na obr. 17. K zamezení nežádoucích turbulencí na okrajích rezonátoru je možné konce novodurové trubky opatřit vnitřním a vnějším nástavcem (obr. 18a). Nástavce jsou zhotoveny rovněž z novoduru a přilepeny k novodurové trubce lepidlem L20. Vzhledem k tomu, že nástavce vyžadují náročnější soustružnické práce, mohou se čtenáři spokojit pouze se zaoblením obou okrajů novodurové trubky pilníkem. Takto upravená trubka, tvořící bassrefle-

zhotoven z železného plechu tl. 1,5 mm. Čela o tloušťce 2 mm jsou k válci přivařena, válec je svařen po celé délce. Náznorné provedení tubusu je na obr. 18.

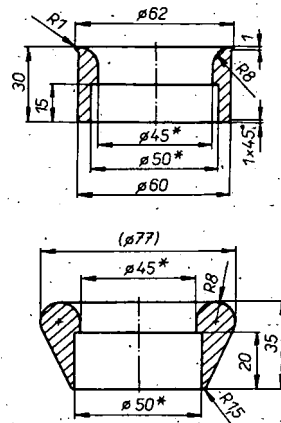
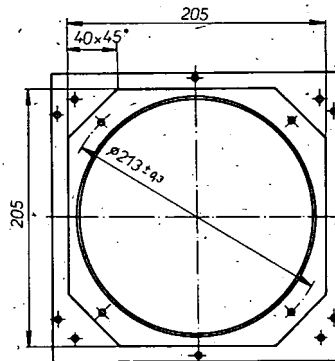
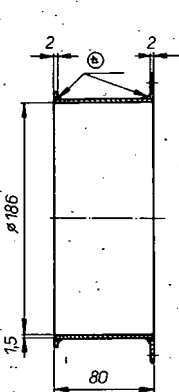
Výhybky

Pro tuto hlubokotónovou jednotku bylo zvoleno zapojení typu A, které bylo blokově popsáno v článku 2.1. Dolní propust omezující akustický signál do hlubokotónové jednotky na dělicím kmitočtu $f_{d1} = 155 \text{ Hz}$ je 2. řádu se strmostí 12 dB/okt. Rovněž tak horní propusti s dělicím kmitočtem $f_{d1} = 155 \text{ Hz}$, přes které je přiváděn signál do malých reproduktorových soustav – satelitů, jsou 2. řádu.

ARN 6608 zapojené paralelně. Jelikož jsou reproduktory hlubokotónové jednotky zapojeny mezi výstupy „živých“ konců jednotlivých kanálů, tak by při provozu s běžným stereofonním zesilovačem nevyzařovaly žádný signál. Musíme proto otočit fázi signálu u jednoho kanálu stereofonního zesilovače, pak budou teprve reproduktory správně buzeny. Současně musíme otočit polaritu u satelitní jednotky tak, aby tyto jednotky a hlubokotónová jednotka byly ve fázi. Na obr. 20 uvádíme konkrétní elektrické schéma invertoru, kterým musíme doplnit stereofonní zesilovač, s kterým budeme výše popsanou hlubokotónovou jednotku provozovat. In-



Obr. 18. Tubus pro uchycení reproduktorů ARN 6604 v tandemu



xový rezonátor, je vlepena do otvoru na přední stěně ozvučnice lepidlem L20.

Reproduktory, jak bylo uvedeno, jsou uspořádány v tandemu. Konstrukčně je to provedeno tak, že reproduktory jsou přišroubovány za sebou na plechový válec s osazením (tzv. tubus). Plechový válec je

Konstrukčně je výhybka realizována na texgumoidové podložce tl. 5 mm o rozměrech 110 × 170 mm a je upevněna na dně ozvučnice.

Celkové elektrické schéma výhybek je na obr. 19. Údaje prvků výhybky jsou v tab. 3.

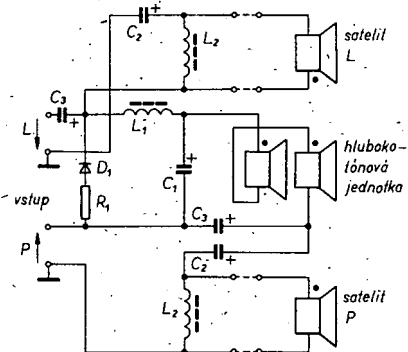
Tlumičky L1 a L2 jsou realizovány na jádrech EI 20 × 20 mm. Pro impedanci hlubokotónové jednotky 4 Ω navineme drátem CuL o průměru 0,85 mm 185 závitů. Pro impedanci 8 Ω bude počet závitů 262 a cívku navineme drátem CuL o průměru 0,7 mm. V obou případech vymezíme vzduchovou mezeru nevodivou podložkou o tloušťce 1 mm. Natomto místě je třeba upozornit na to, že v zapojení typu A při požadavku celkové impedance reproduktorové kombinace 8 Ω musí být impedance reproduktorů použitých v hlubokotónové jednotce 4 Ω. Jak je patrné z obr. 19, jsou reproduktory zapojeny do série. V případě požadavku celkové impedance 4 Ω použijeme dva reproduktory

Obr. 18a. Vnější a vnitřní nástavec bass-reflexového rezonátoru

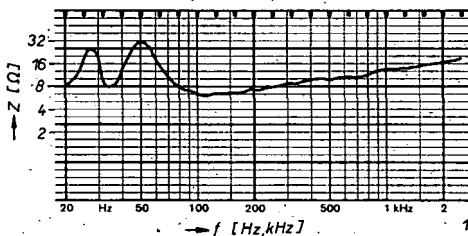
vektor zařadíme před koncový stupeň zesilovače.

Naměřené výsledky

Na realizované hlubokotónové jednotce jsme změřili několik základních vlastností. Především byla změřena vstupní impedance hlubokotónových reproduktorů, z jejíhož průběhu můžeme stanovit naladění bassreflexového rezonátoru. Impedance v závislosti na kmitočtu je uvedena na obr. 21. Dále byla změřena kmitočtová charakteristika hladiny akustického tlaku v blízkém poli při vstupním napětí $U_0 = 1 \text{ V}$. Měřicí mikrofon byl umístěn v ose mezi reproduktory a bassreflexovým otvorem ve vzdálenosti 0,2 m od hlubokotónové jednotky. Změřený průběh kmitočtové charakteristiky je na obr. 22.

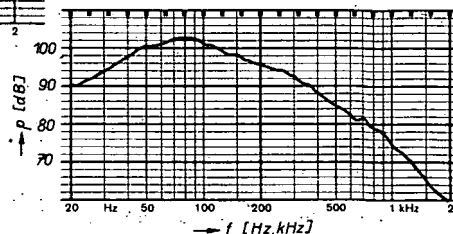


Obr. 19. Schéma zapojení hlubokotónové jednotky o vnitřním objemu 35 dm³



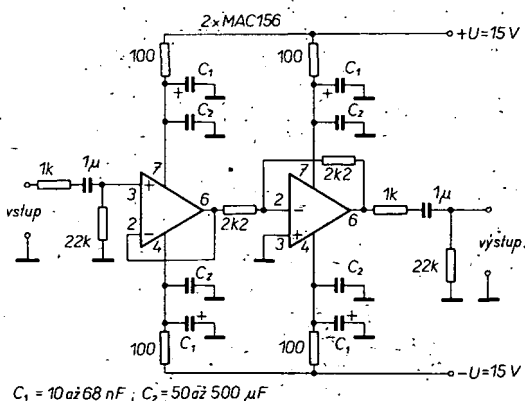
Obr. 21. Kmitočtový průběh vstupní impedance hlubokotónových reproduktorů jednotky o objemu 35 dm³

Obr. 22. Kmitočtová charakteristika hlubokotónové jednotky o objemu 35 dm³



Tab. 3. Údaje součástky výhybky z obr. 19

Osazení	Impedance [Ω]	L ₁ [mH]	L ₂ [mH]	C ₁ [μF]	C ₂ [μF]	C ₃ [μF]	R ₁ [Ω]	D ₁
2× ARN 6608 (paralelně)	4	8,2	8,2	128	128	2500	100 až 270	KA207
2× ARN 6604 (sériově)	8	16,4	16,4	64	64	2500	100 až 270	KA207



$C_1 = 10 \text{ až } 68 \text{ nF}$; $C_2 = 50 \text{ až } 500 \text{ μF}$

Obr. 20. Schéma zapojení invertujícího zesilovače

Technické parametry

Jmenovitá impedance:	8 Ω (4 Ω).
Max. standardní příkon:	40 VA.
Špičkový hudební příkon:	80 VA.
Kmitočtový rozsah (±3 dB):	35 Hz až 200 Hz.
Charakteristická citlivost:	87 dB/VA/m.
Použité reproduktory:	2 × ARN 6604 (2 × ARN 6608).
Výhybka:	pasivní 2. řádu, 12 dB/okt.
Dělicí kmitočet:	155 Hz.
Druh ozvučnice:	bassreflexová.
Volný objem ozvučnice:	32 dm ³ .
Vnější rozměry (v × š × h):	700 × 270 × 270 mm.

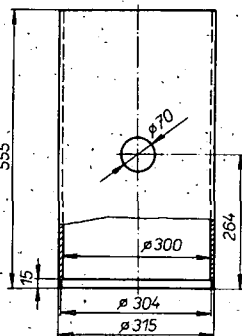
4.2 Hlubokotónová jednotka o vnitřním objemu 38 dm³ s válcovou ozvučnicí

Návrh vyzářovacích jednotek

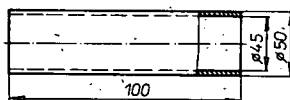
Jednotka je určena pro přenos nejnižších kmitočtů od 34 Hz do 165 Hz. Reprodukory ARN 6604 jsou uspořádány do tandemu a jsou umístěny směrem dolů ve válcové bassreflexové ozvučnici. Při návrhu této jednotky jsme vycházeli z naměřených údajů reproduktoru ARN 6604, které byly uvedeny v článku 4.1. Dolní mezní kmitočet ozvučnice při vnitřním objemu $V = 38 \text{ dm}^3$ je 34 Hz. Rezonanční kmitočet ozvučnice stanovíme podle (1) a je roven 30 Hz.

Řešení ozvučnice

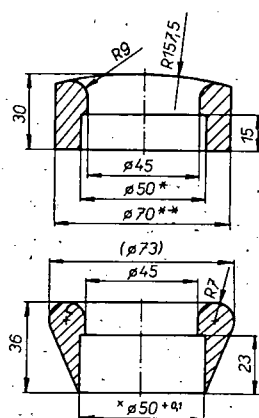
Ozvučnice je válcového tvaru a je zhotovena z novodurové trubky o vnějším průměru 315 mm a vnitřním průměru 300 mm. Toto netradiční uspořádání má proti klasické ozvučnici ze dřeva některé přednosti. Především má lepší pevnost, trvanlivost i opracovatelnost. Její stěny jsou dokonale hladké a umožňují udělat snadno některou z povrchových úprav jako je lakování, tapetování apod. Co se týká jejího začlenění do bytového interiéru, může kromě svého základního poslání plnit i funkci bytového doplňku (květinový stolek, podstavec pod osvětlovací lampu apod.). Rozměry ozvučnice jsou na obr. 23. V její přední části je díra o průměru 70 mm pro vnější nástavec, ke kterému je přilepená novodurová trubka o $\varnothing 50 \text{ mm}$, tvořící bassreflexový rezonátor. Rozměry této trubky jsou na obr. 24. Trubka je zakončena vnějším a vnitřním nástavcem, jejichž konstrukční výkresy jsou uvedeny na obr. 25. Celá sestava je slepena lepidlem L 20. Pokud nebudou mít čtenáři možnost zhotovit si nástavec z novoduru na soustruhu, musí se spokojit se zaoblením obou konců bassreflexové trubky pilníkem. Horní a spodní víko ozvučnice je zhotoveno rovněž z novoduru o tloušťce 15 mm (obr. 27 a 28). Reprodukory jsou uspořádány, jak bylo již uvedeno, v tandemu. Konstrukčně je to umožněno plechovým válcem z ocelového plechu tl. 1,5 mm a dvou mezikruží ze stejného plechu tl. 2 mm. Všechny díly jsou k sobě přivařeny (obr. 26). Spodní reproduktor je přiřroubován k plechovému válci (tubusu) přes novodurovou vložku tl. 10 mm, jejíž konstrukční výkres je na obr. 29. Ozvučnice je uzavřena ve spodní části víkem z novoduru tl. 15 mm (obr. 28). Pro vyztužení stěny ozvučnice a zároveň k připevnění duralového krytu s děrami v její dolní části slouží novodurový kroužek (obr. 30). Jako ochranný kryt je před reproduktory přiřroubována duralová deska se 6 děrami o $\varnothing 60 \text{ mm}$ (obr. 32). K připevnění prvků elektrické výhybky do ozvučnice slouží podložka z texgumoidu nebo novoduru o $\varnothing 260 \text{ mm}$ (obr. 33). Podložka je upevněna čtyřmi distančními sloupky z duralu (obr. 34) ke koši horního reproduktoru. Protože reproduktory v popsaném uspořádání vyzárají směrem dolů, musíme



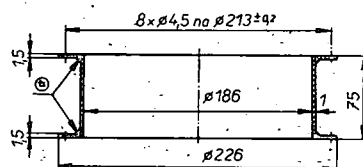
Obr. 23. Válcová ozvučnice hlubokotónové jednotky o vnitřním objemu 38 dm³.



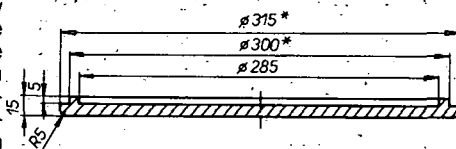
Obr. 24. Bassreflexový rezonátor



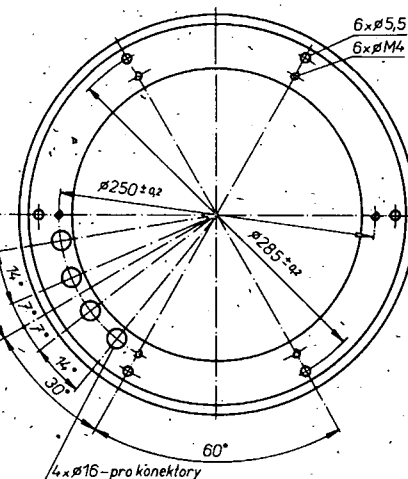
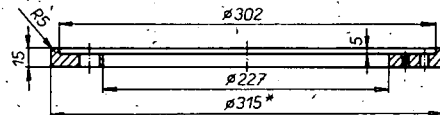
Obr. 25. Vnější a vnitřní nástavec bassreflexového rezonátoru



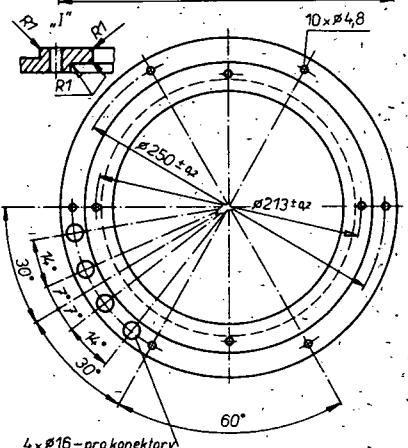
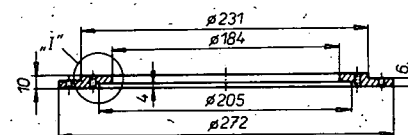
Obr. 26. Tubus pro uchycení reproduktoru ARN 6604 v tandemu



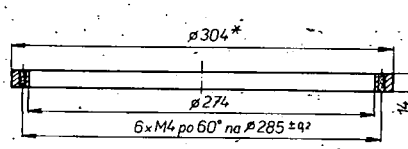
Obr. 27. Horní víko pro válcovou ozvučnici



Obr. 28. Spodní víko pro válcovou ozvučnici



Obr. 29. Novodurová vložka pro válcovou ozvučnici

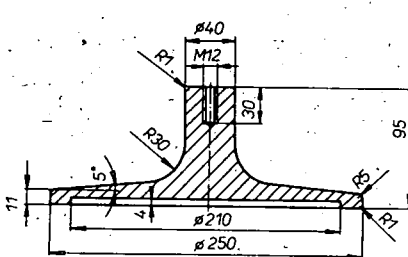


Obr. 30. Novodurový kroužek pro válcovou ozvučnici

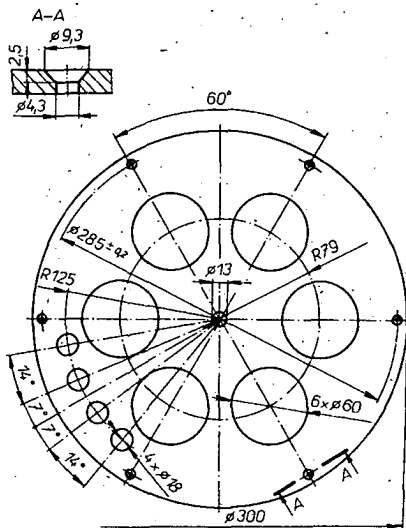
opatřit ozvučnici vyzářovací nohou, jejíž rozměry jsou na obr. 31. Celková sestava realizované ozvučnice je na obr. 35, jednotlivé díly jsou označeny takto: 1 – ozvučnice, 2 – horní víko, 3 – spodní víko, 4 – stojan-noha, 5 – tubus, 6 – vložka, 7 – kryt, 8 – kroužek, 9 – podložka, 10 – distanční sloupek, 11 – reproduktory, 12 – součástky výhybky.

Výhybky

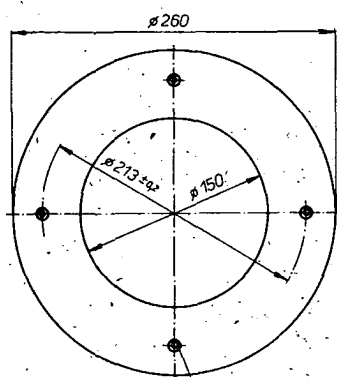
Pro tuto hlubokotónovou jednotku jsme zvolili zapojení typu B, které je blokově popsáno v článku 2.2. Pro správnou činnost hlubokotónové jednotky satelitních jednotek v případě stejné citlivosti všech jednotek je nutné, aby impe-



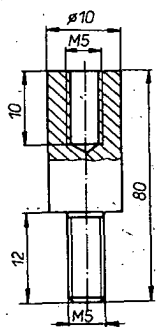
Obr. 31. Stojan pro válcovou ozvučnici



Obr. 32. Kryt s otvory pro válcovou ozvučnici



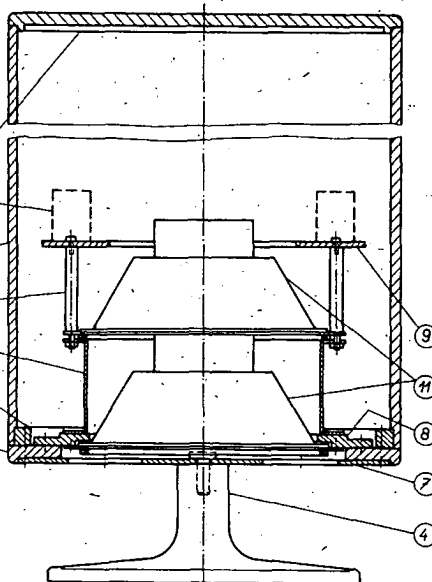
Obr. 33. Podložka pro výhybku



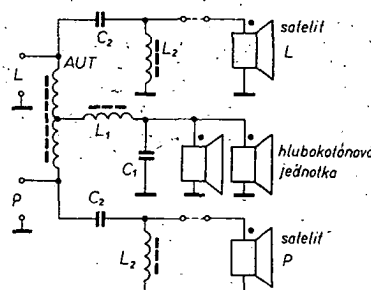
Obr. 34. Distancní sloupek

dance hlubokotónové jednotky byla polo-
viční vzhledem k impedancím satelitních
jednotek. Použité výhybky v hlubokotón-
ové jednotce jsou se strmostí 12 dB/okt.
a dělicím kmitočtem $f_{d1} = 165$ Hz. Celkové
elektrické schéma jednotky je na obr. 36.
Údaje prvků výhybky jsou přehledně uve-
dены v tab. 4. Sčítací prvek (autotransfor-
mátor) je realizován na jádře EI
20 x 20 mm. Jeho cívka má 132 závitů
s odbočkou ve středu a je navinuta drátem
CuL o \varnothing 1 mm.

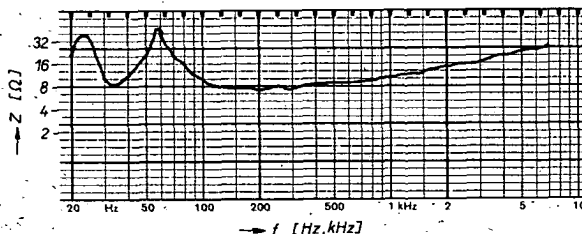
tlumivky L_1 a L_2 jsou realizovány na
jádrech EI 25 x 25 mm. Pro impedanci
hlubokotónové jednotky 2 Ω je cívka L_1
navinuta drátem CuL o \varnothing 1,4 mm s počtem
závitů 102. Cívka L_2 má 144 závitů drátu
o \varnothing 1,2 mm. Pro impedanci 4 Ω navineme



Obr. 35. Sestava válcové ozvučnice
o vnitřním objemu 38 dm³



Obr. 36. Schéma zapojení hlubokotónové
jednotky o vnitřním objemu 38 dm³



Obr. 36a. Kmitočtový průběh vstupní im-
pedance hlubokotónových reproduktorů
jednotky o objemu 38 dm³

jako L_2 204 závitů drátem CuL o \varnothing 1 mm.
Cívka L_1 bude mít 144 závitů drátu
o \varnothing 1,2 mm. Vzduchovou mezeru vymezí-
me v obou případech nevodivou podlož-
kou tlustou 1 mm.

Naměřené údaje

Na realizované hlubokotónové jednot-
ce jsme změřili řadu vlastností. Některé
z nich uvádíme na následujících obráz-
cích. Na obr. 36a je průběh vstupní im-
pedance hlubokotónových reproduktorů
jednotky. Na obr. 37 je nakreslen průběh
svorkového napětí na reproduktorech
jednotky a na obr. 38 kmitočtová charak-
teristika hladiny akustického tlaku měre-
ná v blízkém poli ve vzdálenosti $l = 0,2$ m
před jednotkou.

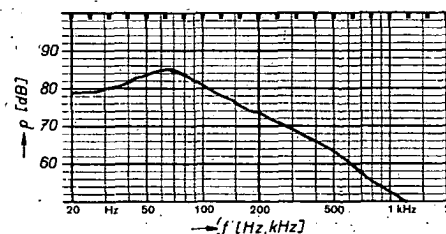
Z následujících měření a mnoha dalších
vyplývá, že hlubokotónová jednotka s vál-
covou novodurovou ozvučnicí má stejné
elektroakustické vlastnosti jako jednotky
s dřevěnou ozvučnicí tvaru kvádrů.

Technické parametry

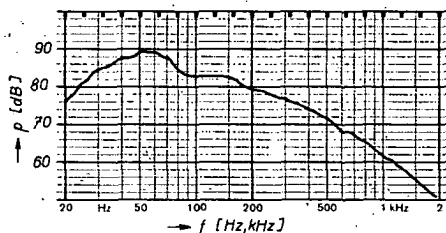
Jmenovitá impedance:	2 Ω (4 Ω).
Max. standardní příkon:	40 VA.
Špičkový hudební příkon:	80 VA.
Kmitočtový rozsah v tolerančním poli ± 3 dB:	34 Hz až 165 Hz.
Charakteristická citlivost:	86 dB/VA/m.
Použité reproduktory:	2 x ARN 6604 (2 x ARN 6608) pasivní 2. řádu, 12 dB/okt.
Výhybka:	165 Hz.
Dělicí kmitočet:	165 Hz.
Druh ozvučnice:	bassreflexová.
Volný objem ozvučnice:	33 dm ³ .
Vnější rozměry:	průměr 315 mm, výška 580 mm.

Tab. 4. Údaje součástek výhybky

Osazení	Impedance [Ω]	L_1 [mH]	L_2 [mH]	C_1 [μ F]	C_2 [μ F]
2 x ARN 6604 (paralelně)	2	3,9	7,7	240	120
2 x ARN 6608 (paralelně)	4	7,7	15,4	120	60



Obr. 37. Kmitočtový průběh svorkového
napětí na reproduktorech hlubokotónové
jednotky o objemu 38 dm³



Obr. 38. Kmitočtová charakteristika hlu-
bokotónové jednotky o objemu 38 dm³.
Měřeno v blízkém poli, $l = 0,2$ m
($U_0 = 0,2$ V)

4.3 Hlubokotónová jednotka o vnitřním objemu 66 dm³

Návrh vyzařovacích jednotek

V tomto případě jsme použili dva repro-
duktory ARN 6604 s těmito technickými
údaji:

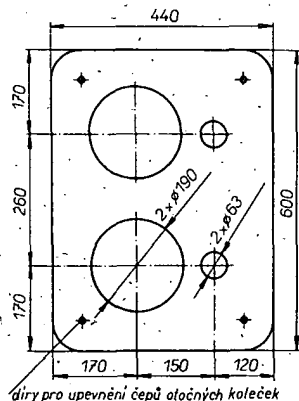
Jmenovitý příkon:	$P = 20$ VA,
Špičkový hudební příkon:	$P = 40$ VA,
Jmenovitá impedance:	$Z_i = 4$ Ω ,
odpor vinutí kmitací cívky:	$R_v = 3,8$ Ω ,
akustická hmota kmitacího systému:	$m_{a1} = 40$ kg/m ⁴
ekvivalentní objem:	$V_{ekv} = 83$ dm ³
rezonanční kmitočet:	$f_r = 33$ Hz,
činitel jakosti celkový:	$Q_{c,t} = 0,66$,
charakteristická citlivost:	$\eta = 89,5$ dB/VA/m

v uspořádání vedle sebe. Protože použité
reproduktory měly činitele jakosti pro
daný účel příliš velké, museli jsme pro
vyrovnání kmitočtový průběh na nižších
kmitočtech zmenšit činitel jakosti repro-
duktorů z původních 0,66 na 0,45. Na
tomto místě si je třeba uvědomit to, že

k dosažení stejného dolního mezního kmitočtu f_0 potřebujeme dvojnásobný objem ozvučnice, než při použití jednoho reproduktoru. V porovnání s uspořádáním reproduktorů do tandemu je k dosažení stejného dolního mezního kmitočtu nutný v tomto případě objem čtyřnásobně větší.

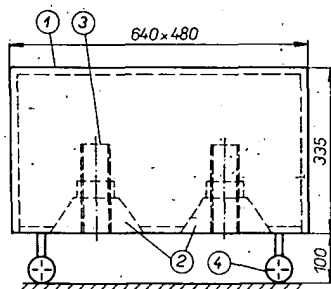
Řešení ozvučnice

Ozvučnice je z hlediska použití řešena jako součást nábytku s možností použít ji jako stolek pod televizní přijímač nebo odkládací plochu k sedací soupravě. Je vyrobena z překližky tl. 20 mm (rohy je možné zaoblit nebo ponechat ostré hrany podle provedení ostatního nábytku). Reproduktoři jsou uspořádáni vedle sebe a vyzářují akustické signály směrem dolů. Rozměry a konstrukční uspořádání jsou na obr. 39a. Na obr. 39b je sestava hluboko-



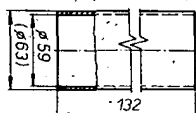
díry pro upevnění čepů otočných koleček

Obr. 39a. Spodní deska hlubokotónové jednotky o vnitřním objemu 66 dm³



Obr. 39b. Celková sestava hlubokotónové jednotky o vnitřním objemu 66 dm³

kotónové jednotky. V ozvučnici 1 jsou na spodní části přišroubovány zezadu oba hlubokotónové reproduktory 2 a lepidlem L 20 přilepeny bassreflexové nátrubky 3. Vzhledem k tomu, že reproduktory vyzářují akustické signály směrem dolů k podlaze místnosti, musí být pro správnou činnost hlubokotónové jednotky ozvučnice vzdálena od podlahy min. 100 mm. V našem případě jsme vzdálenost od podlahy vymezili nastavením držáku koleček 4 tak, aby celková délka byla 100 mm. Vzhledem k rozměrům a hmotnosti hlubokotónové jednotky umožňují kolečka též rychlou a snadnou manipulaci. Konstrukční výkres bassreflexových rezonátorů vyrobených z novodurové trubky je na obr. 40. K zamezení nežádoucích turbulencí vzduchu a zmenšení ztrát rezoná-

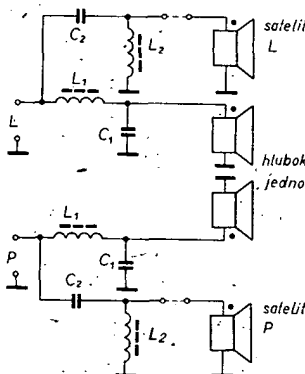


Obr. 40. Bassreflexový rezonátor

toru doporučujeme zaoblit hrany trubky na obou jejích stranách. Konektory přivádějící signál z výstupu stereofonního zesilovače a rovněž konektory pro připojení satelitních jednotek jsou umístěny na spodní desce ozvučnice.

Výhybky

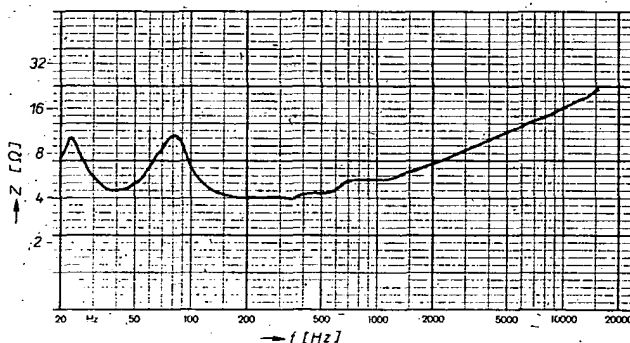
Pro tuto hlubokotónovou jednotku netradičního uspořádání jsme zvolili zapojení typu C (článek 2.3), využívající akustického sčítání signálu. Reproduktoři nejsou v tomto případě uspořádáni v tandemu, ale vedle sebe. Dělicí kmitočet výhybky byl zvolen záměrně 200 Hz, neboť jde o velmi jednoduchou a ekonomickou hlubokotónovou jednotku. K jednotce můžeme připojit satelitní jednotky s dolním mezím kmitočtem $f_{d1} = 200$ Hz, popsané v článku 5.1. Indukčnosti potřebných tlumivěk jsou řádově desítky milihenry. Z realizačních důvodů jsme je navrhli na jádře složeném z transformátorových plechů EI, neboť vzduchové by vycházely rozměrově neúměrně velké. Tlumivky L_1 a L_2 jsou na jádře EI 25 x 25 mm. Pro impedanci jednotky 4 Ω je tlumivka s počtem závitů 131 navinuta drátem o Ø 1,2 mm. Při impedanci jednotky 8 Ω bude tlumivka rovněž na jádře EI 25 x 25 mm. Drátem o průměru 1 mm navineme 184 závitů a nevodivou vložkou vymezíme mezeru 1 mm mezi plechy E a plechy I. Schéma zapojení výhybky je na obr. 41. Protože se tlumivkami L_2 nepřenáší velký výkon, můžeme je realizovat též na feritovém jádře, což rozměro-



Obr. 41. Schéma zapojení hlubokotónové jednotky o objemu 66 dm³

Tab. 5. Údaje součástek výhybky podle obr. 41.

Obsazení	Impedance [Ω]	L_1 [mH]	L_2 [mH]	C_1 [μF]	C_2 [μF]
2x ARN 6604	4	6,3	6,3	100	100
2x ARN 6608	8	12,6	12,6	50	50

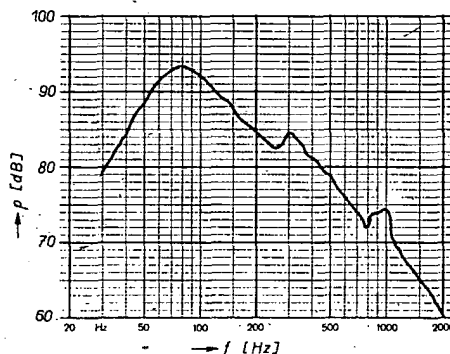


Obr. 42. Kmitočtový průběh vstupní impedance hlubokotónových reproduktorů jednotky objemu 66 dm³

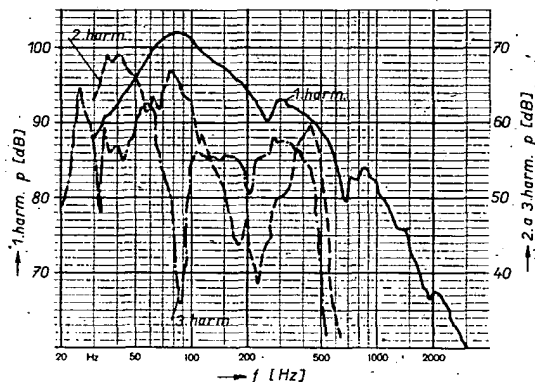
vě bude velmi výhodné. Všechny prvky výhybky jsou popsány v tab. 5.

Naměřené výsledky

Impedanční charakteristiku, změřenou na hlubokotónových reproduktorech jednotky, uvádíme na obr. 42. Dále byla změřena kmitočtová charakteristika hladiny akustického tlaku jednotky v blízkém poli ve vzdálenosti $l = 0,2$ m; její tvar je na obr. 42a. Průběhy první, druhé a třetí harmonické, dávající informaci o harmonickém zkreslení, jsou na obr. 42b. Průběhy byly změřeny ve vzdálenosti $l = 1$ m a při příkonu $P = 10$ VA.



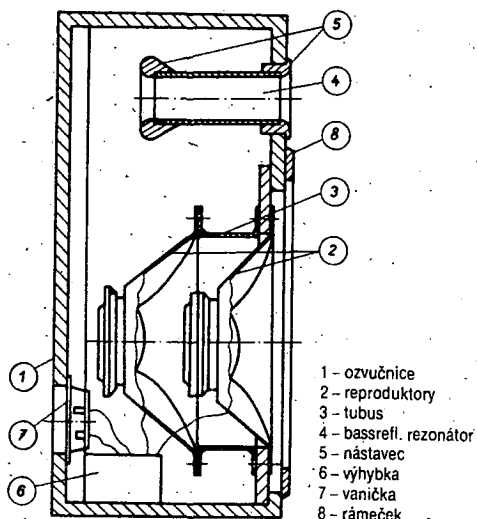
Obr. 42a. Kmitočtová charakteristika hlubokotónové jednotky o objemu 66 dm³. Měřeno zblízka, $l = 0,2$ m



Obr. 42b. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické hlubokotónové jednotky o objemu 66 dm³

Technické údaje

Jmenovitá impedance: 4 Ω (8 Ω).
Max. standardní příkon: 40 VA.
Spíkový hudební příkon: 80 VA.
Kmitočtový rozsah (± 3 dB): 45 až 200 Hz.
Charakteristická citlivost: 86 dB/VA/m.
Použité reproduktory: 2x ARN 6604 (2x ARN 8604).



Obr. 43. Sestava hlubokotónové jednotky o objemu 78 dm³

Výhybka: pasivní 2. řádu;
12 dB/okt.
Dělicí kmitočet: 200 Hz.
Druh ozvučnice: bassreflexová.
Volný objem ozvučnice: 64 dm³.
Rozměry (v x š x h): 335 x 640 x 480 mm.

4.4 Hlubokotónová jednotka o vnitřním objemu 78 dm³

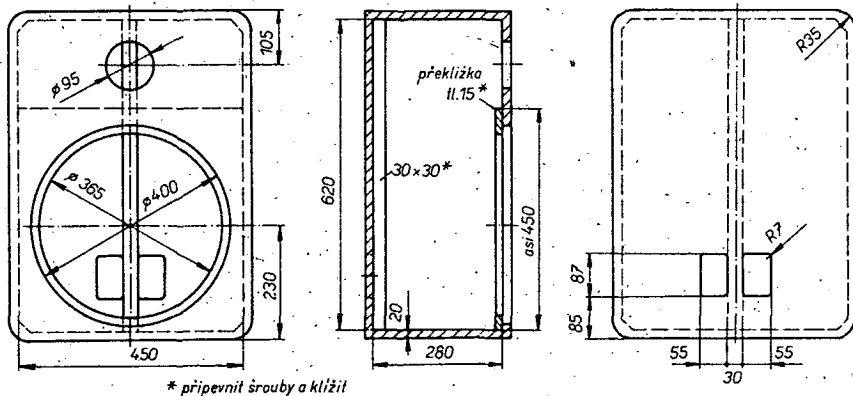
Návrh

Hlubokotónová jednotka je určena k reprodukci signálu v kmitočtovém pásmu 28 Hz až 155 Hz. Ozvučnice je bassreflexová s dvěma reproduktory ARN 8604 v tandemovém uspořádání. Při návrhu ozvučnice této hlubokotónové jednotky jsme vycházeli z daných a naměřených údajů reproduktoru ARN 8604:

jmenovitý příkon: $P = 30 \text{ VA}$;
špičkový hudební výkon: $P_s = 60 \text{ VA}$;
jmenovitá impedance: $Z_1 = 4 \Omega$;
odpor vinutí kmitací cívky: $R_v = 3,75 \text{ až } 3,85 \Omega$;

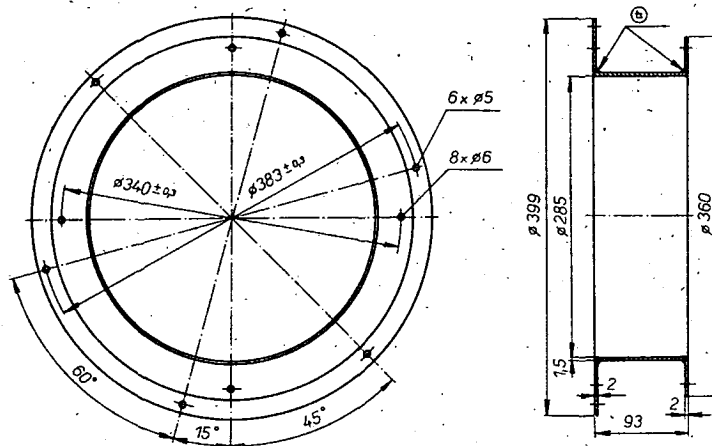
akustická hmotnost kmitacího systému: $m_{a1} = 30 \text{ kg/m}^4$;
ekvivalentní objem: $V_{ekv} = 280 \text{ dm}^3$;
rezonanční kmitočet: $f_r = 26 \text{ Hz}$;
činitel jakosti elektrický: $Q_{el, r} = 0,4$;
činitel jakosti celkový: $Q_{c, r} = 0,38$;
citlivost: $\eta = 90,7 \text{ dB/VA/m}$.

Při uvedeném objemu ozvučnice určíme podle (3) dolní mezní kmitočet f_d , který je 28 Hz. Podle (1) je rezonanční kmitočet ozvučnice pak roven též 28 Hz a poměr $\gamma = 1$.



* připevnit šrouby a klíží

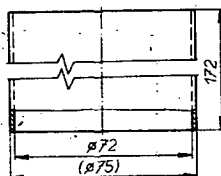
Obr. 43a. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice hlubokotónové jednotky o objemu 78 dm³



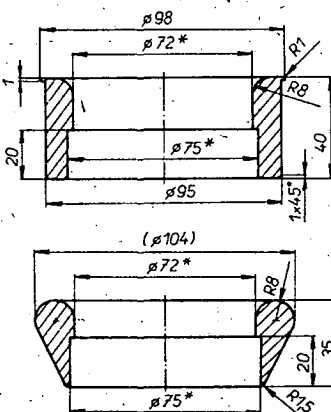
Obr. 46. Tubus pro uchycení reproduktoru ARN 8604 v tandemu

Řešení ozvučnice

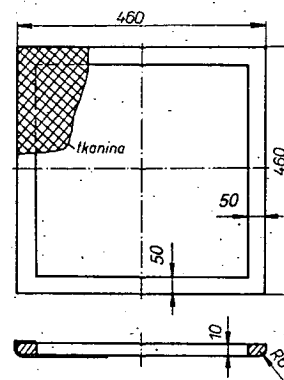
Sestava této hlubokotónové jednotky je na obr. 43. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice jsou na obr. 43a. Ozvučnice je z laťovky o tloušťce 20 mm, pro upevnění reproduktorů je použita překližka 15 mm. Na zadní stěně ozvučnice jsou



Obr. 44. Bassreflexový rezonátor



Obr. 45. Vnější a vnitřní nástavec bassreflexového rezonátoru



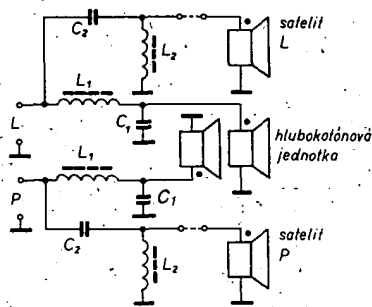
Obr. 47. Přední rámeček s tkaninou pro hlubokotónovou jednotku o objemu 78 dm³

dva otvory pro vaničky z plastické hmoty, na nichž jsou přišroubovány zdířky a reproduktorové konektory. Aby zadní stěna ozvučnice při větším vybití nekmitala, je vyztužena hranoly 30 x 30 mm. Na přední stěně jsou otvory pro bassreflexový rezonátor a pro reproduktory, uspořádané v tandemu. Rezonátor je zhotoven z novodurové trubky o světlosti 72 mm. Rozměry jsou uvedeny na obr. 44. Pro zmenšení nežádoucích turbulencí vzduchu při jeho vstupu a výstupu z rezonátoru jsou oba konce rezonátoru opatřeny nástavci, jejichž konstrukční výkresy jsou na obr. 45. Nástavce jsou přilepeny na obou koncích bassreflexové trubky opět lepidlem L 20 a pomocí předního nástavce je celý rezonátor vlepen do otvoru v ozvučnici.

K upevnění reproduktorů do tandemu slouží plechový válec z ocelového plechu tl. 1,5 mm, který je opatřen dvěma mezikružními též z ocelového plechu tl. 2 mm. Konstrukční výkres tohoto nosného prvku reproduktorů - tubusu, je na obr. 46. K ochraně reproduktorů před mechanickým poškozením slouží čtvercový rámeček z tvrdého dřeva, potažený prodyšnou tkaninou (obr. 47). Rámeček lze buď přilepit nebo připevnit kolíčky na přední stěnu ozvučnice.

Výhybky

V tomto případě jsme zvolili zapojení typu D (článek 2.4), které využívá akustického způsobu sčítání signálů a tandemového uspořádání reproduktorů. Jako horní a dolní propusti jsme použili výhybky 2. řádu se strmostí 12 dB/okt. Dolní propusti k omezení a přivedení signálu nejnižších kmitočtů k jednotlivým hlubokotónovým reproduktorům. Dělicí kmitočet byl zvolen



Obr. 48. Schéma zapojení hlubokotónové jednotky o objemu 78 dm³

Tab. 6. Údaje součástek výhybky pro zapojení z obr. 48

Osazení	Impedance [Ω]	L ₁ [mH]	L ₂ [mH]	C ₁ [μF]	C ₂ [μF]
2x ARN 8604	4	8,2	8,2	128	128
2x ARN 8608	8	16,4	16,4	64	64

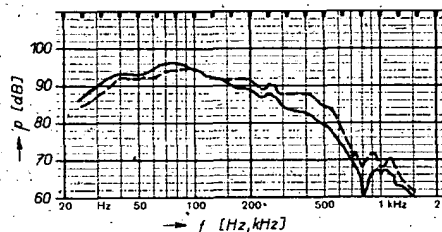
len 155 Hz. Horní propusti propouštějí pásmo signálů od 155 Hz. Indukčnosti tlumivek a kapacity kondenzátorů jsou pro impedanci hlubokotónové jednotky 4 Ω nebo 8 Ω v tab. 6.

Celkové elektrické schéma hlubokotónové jednotky je na obr. 48. Tlumivky L₁ pro hlubokotónovou jednotku 8 Ω budou mít indukčnost 16,4 mH. Jsou zhotoveny na jádře složeném z transformátorových plechů EI 25 x 25 mm. Cívka je navinuta drátem CuL o Ø 1 mm a počet závitů je 210. Vzduchovou mezeru vymezíme na 1 mm. Tlumivky pro hlubokotónovou jednotku o impedanci 4 Ω budou mít indukčnost L₁ = 8,2 mH a jsou realizovány na stejném jádře, tj. EI 25 x 25 mm. Cívka je navinuta opět drátem CuL o průměru 1 mm a počet závitů je 148. Vzduchová mezeza bude 1 mm.

Tlumivky v horních propustích, přes které prochází signál do satelitních jednotek, mají indukčnost L₂ = 16,4 mH při impedanci těchto jednotek 8 Ω. Jsou realizovány na hrníčkovém feritovém jádře o Ø 36 x 22 mm, hmota H12 a A_L = 1000. Cívky jsou navinuty drátem CuL o Ø 0,6 mm s počtem závitů 128.

Tlumivky pro impedanci satelitů 4 Ω budou mít indukčnost L₂ = 8,2 mH. Jsou na feritovém jádře o Ø 36 x 22 mm, hmota H12 a A_L = 1000. Cívky jsou navinuty drátem CuL o Ø 0,6 mm s počtem závitů 91.

Kondenzátory C₁ a C₂ o kapacitě 64 μF se při impedanci jednotky 8 Ω skládají paralelně ze dvou kondenzátorů MP o kapacitě 32 μF, TC 651 (na 160 V). Při impedanci hlubokotónové jednotky 4 Ω mají kondenzátory C₁ a C₂ kapacitu 128 μF. Tuto kapacitu získáte paralelním spojením čtyř kondenzátorů 32 μF, TC 651.



Obr. 49. Kmitočtová charakteristika hlubokotónové jednotky o objemu 78 dm³. Měřeno zblízka, l = 0,2 m – křivka plná a ve vzdálenosti l = 1 m – křivka čárkovaná.

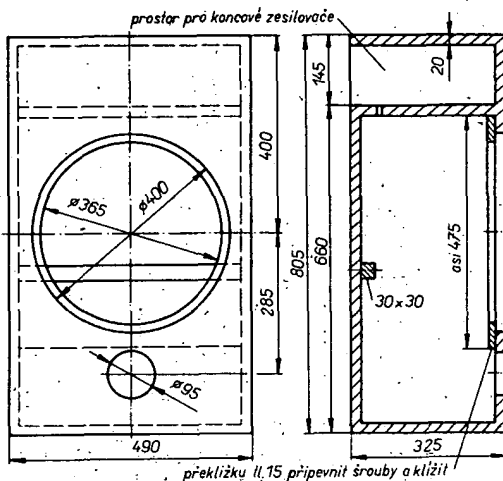
Obr. 50. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické hlubokotónových reproduktů v ozvučnici o objemu 78 dm³. Měřeno při příkonu P = 2 x 5 VA (U_g = 2 x 4,5 V) ve vzdálenosti 1 m

Naměřené výsledky

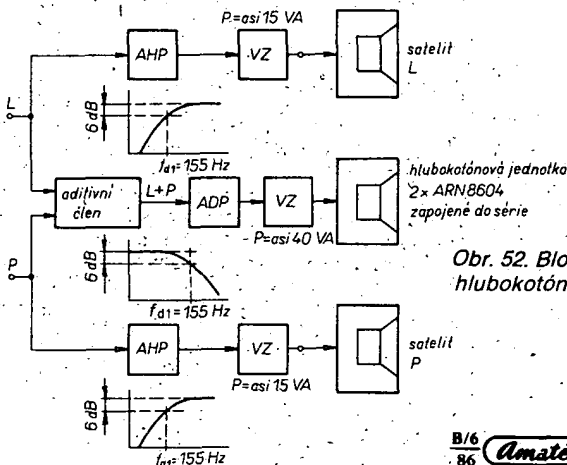
Realizovaná hlubokotónová jednotka byla podrobena řadě objektivních i subjektivních měření. Některé výsledky měření uvádíme v dalším textu. Na obr. 49 jsou kmitočtové charakteristiky hladin akustického tlaku hlubokotónové jednotky o impedanci 8 Ω v blízkém poli (l = 0,2 m), a ve vzdálenosti l = 1 m. Další důležité měření je měření harmonického zkreslení hlubokotónové jednotky. Změřili jsme zkreslení signálu v uvedené ozvučnici druhou a třetí harmonickou při příkonu 10 VA ve vzdálenosti 1 m (měřeno bez výhybky). Výsledky jsou na obr. 50. Z naměřených výsledků a mnoha dalších neuváděných testů lze tuto jednotku zařadit do nejvyšší skupiny vyzařovacích jednotek.

Technické údaje

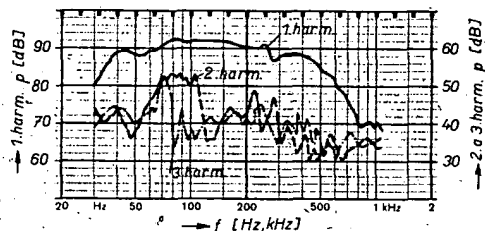
Jmenovitá impedance: 4 Ω (8 Ω).
 Max. standardní příkon: 60 VA.
 Špičkový hudební příkon: 120 VA.
 Kmitočtový rozsah (±3 dB): 27 Hz až 200 Hz.
 Charakteristická citlivost: 86 dB/VA/m.
 Použité reproduktory: 2x ARN 8604 (2x ARN 8608).
 Výhybka: pasivní 2. řádu; 12 dB/okt.
 Dělicí kmitočet: 155 Hz.
 Druh ozvučnice: bassreflexová.
 Volný objem ozvučnice: 70 dm³.
 Vnější rozměry (v x š x h): 660 x 490 x 320 mm.



Obr. 51. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice aktivní hlubokotónové jednotky o objemu 79 dm³



Obr. 52. Blokové schéma zapojení aktivní hlubokotónové jednotky o objemu 79 dm³ se satelity



4.5 Hlubokotónová jednotka o vnitřním objemu 79 dm³ – aktivní

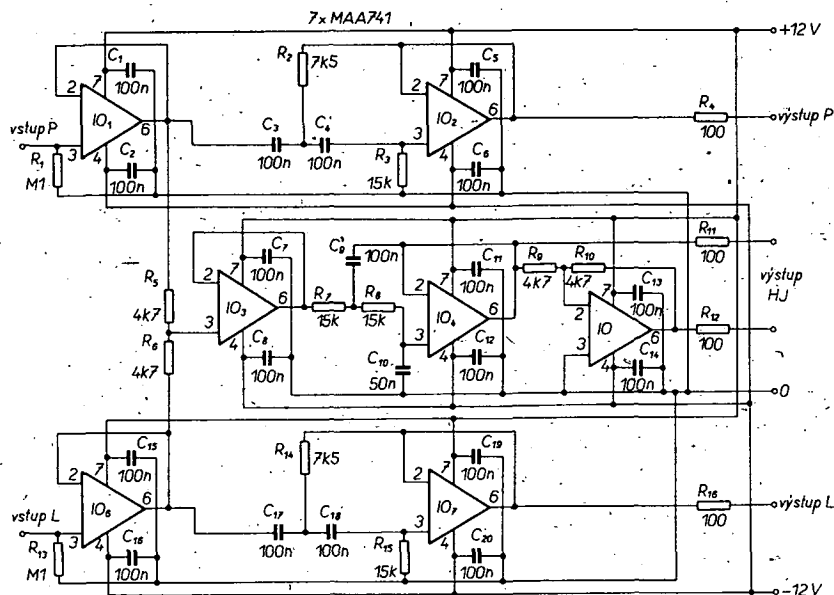
Návrh vyzařovacích jednotek

Tato hlubokotónová jednotka je stejného objemu jako jednotka z předešlého článku 4.4, místo pasivních výhybek jsou však použity výhybky aktivní. Vzhledem k tomu, že jde o jednotku se stejnými reproduktory (2x ARN 8604), nebudeme znovu uvádět návrh ozvučnice ani parametry bassreflexového rezonátoru, protože jsou shodné s již uvedenými údaji. Rovněž výsledky měření na realizované hlubokotónové jednotce jsou shodné s měřeními uváděnými v článku 4.4.

Uvedeme proto pouze rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice pro tuto jednotku (obr. 51). Rozdíl od předešlé jednotky je v tom, že v horní části ozvučnice je vyhrazen prostor pro koncové zesilovače. Rámeček chránící reproduktory před mechanickým poškozením je shodný jako u ozvučnice v článku 4.4.

Výhybky

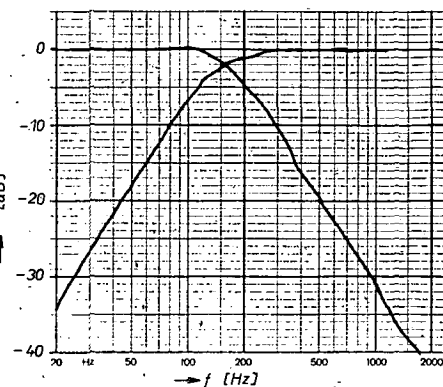
V této hlubokotónové jednotce jsme použili zapojení typu F, uvedené v článku 2.5. Signál pro napájení společné hlubokotónové jednotky je vytvořen elektrickým aditivním členem. Dále je pak omezen aktivní dolní propustí a zesilován.



Obr. 53. Schéma zapojení aktivní výhybky pro hlubokotónovou jednotku o objemu 79 dm^3

výkonovým zesilovačem. Na výstupu zesilovače jsou zapojeny dva reproduktory ARN 8604 do série. Výsledná impedance jednotky je 8Ω . Při požadavku impedance 4Ω bychom na výstup výkonového zesilovače zapojili dva reproduktory ARN 8608 paralelně. Blokové schéma zapojení aktivní jednotky je na obr. 52. Konkrétní schéma realizované aktivní výhybky s IO MAA741 je na obr. 53. Záměrně neuvádí-

me schéma zapojení koncových zesilovačů, neboť se domníváme, že na stránkách AR a v odborné literatuře jich byl publikován takový počet, že si čtenář vybere sám. Na obr. 54 je předloha pro zhotovení desky s plošnými spoji aktivních výhybek. Abychom ověřili správnost zvolené koncepce aktivních filtrů, změřili jsme kmitočtové charakteristiky této aktivní výhybky, výsledek je na obr. 55. Celkový vzhled



Obr. 55. Kmitočtová charakteristika aktivní výhybky

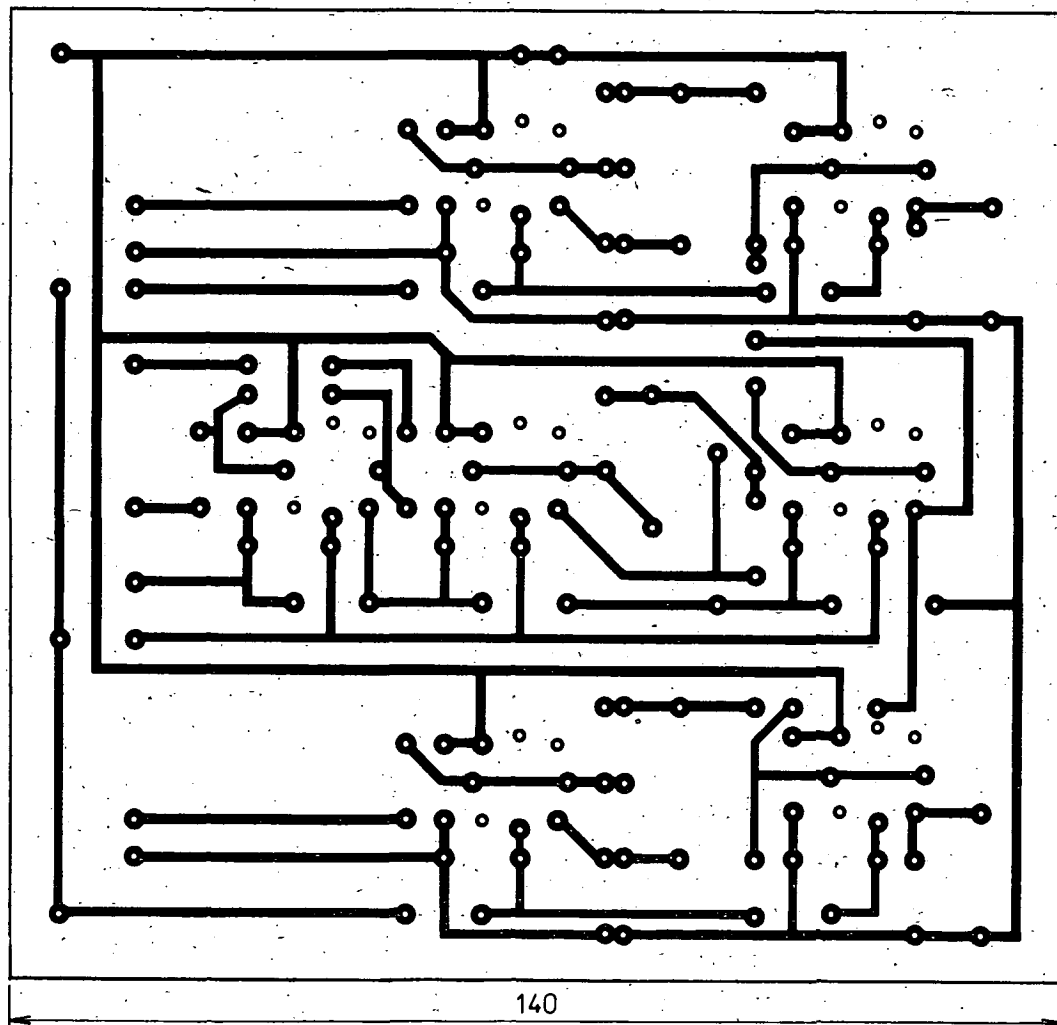
zhotoveného vzorku aktivních výhybek je zřejmý z obr. 56.

Naměřené výsledky

Vzhledem ke stejnému objemu ozvučnice a použitým reproduktorům jsou elektroakustické vlastnosti této jednotky stejné jako u jednotky v článku 4.4 – proto je nebudeme znovu uvádět.

Technické údaje

Parametry této jednotky až na to, že jsou v ní použity místo pasivních výhybek výhybky aktivní, jsou stejné jako u jednotky v článku 4.4. Na tomto místě je třeba připomenout, že aktivní jednotky mají nesporně některé přednosti oproti jed-



Obr. 54. Deska s plošnými spoji U234

notkám s pasívními součástkami. Aktivní výhybky rozdělují kmitočtové pásmo při malých signálech, takže ve filtrech nevznikají výkonové ztráty, ani se neuplatní intermodulační a harmonické zkreslení. Jako nevýhodu lze označit u aktivních jednotek složitější zapojení a mnohem vyšší pořizovací náklady než u pasívních výhybek.

4.6 Hlubokotónová jednotka s malým zkreslením

Návrh vyzařovacích jednotek

Na kvalitní reproduktorovou soustavu je mimo jiné kladen požadavek vyzářit akustický signál s dostatečným akustickým tlakem při co nejmenším nelineárním zkreslení. V současné době se konstruuji a vyrábějí kvalitní reproduktorové soustavy, ale problémem stále zůstává poměrně značný činitel harmonického zkreslení v oblasti nízkých kmitočtů.

U elektrodynamických reproduktorů dochází ke zkreslení průběhu výchylek membrány zejména z následujících důvodů:

1. Tuhost okraje membrány a středního zařízení se při velkých výchylkách zvětšuje, kmitací soustava má omezenou možnost rozkmitu, magnetická indukce ve vzduchové mezeře není v axiálním směru homogenní, u okrajů je menší a vlivem rozptýlu zasahuje částečně i do prostoru v těsném okolí pólových nástavců. Kmitací cívka reproduktoru kmitá při větších příkonech

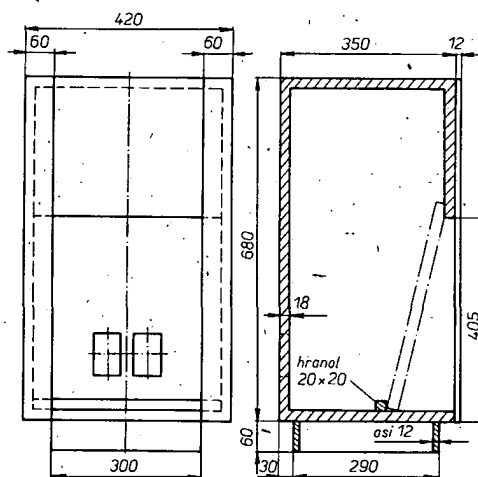
a hlavně na nízkých kmitočtech se značnou výchylkou a přitom částí zasahuje do míst s menší magnetickou indukcí. Tím vzniká značné tvarové zkreslení průběhu hnací síly F . Tomuto jevu se dá částečně odpomoci tím, že kmitací cívku zhotovíme v axiálním směru buď delší nebo naopak kratší, než je příslušný rozměr vzduchové mezeře. V obou případech je to na úkor účinnosti, proto se opatření používá jen u speciálních reproduktorů. Činitel harmonického zkreslení je u hlubokotónových reproduktorů v oblasti 5 až 10 % při maximálním vybuzení.

2. V horní části kmitočtového pásma přenašeneho hlubokotónovým reproduktorem vzrůstá vliv indukčnosti kmitací cívky. Tato závislost je vzhledem ke značným výchylkám kmitací cívky nelineární, neboť indukčnost se zmenšuje při pohybu kmitací cívky ven ze vzduchové mezeře a zvětšuje při pohybu opačného směru.

3. Kmitací cívka reproduktoru není vždy umístěna ve středu pólových nástavců magnetu.

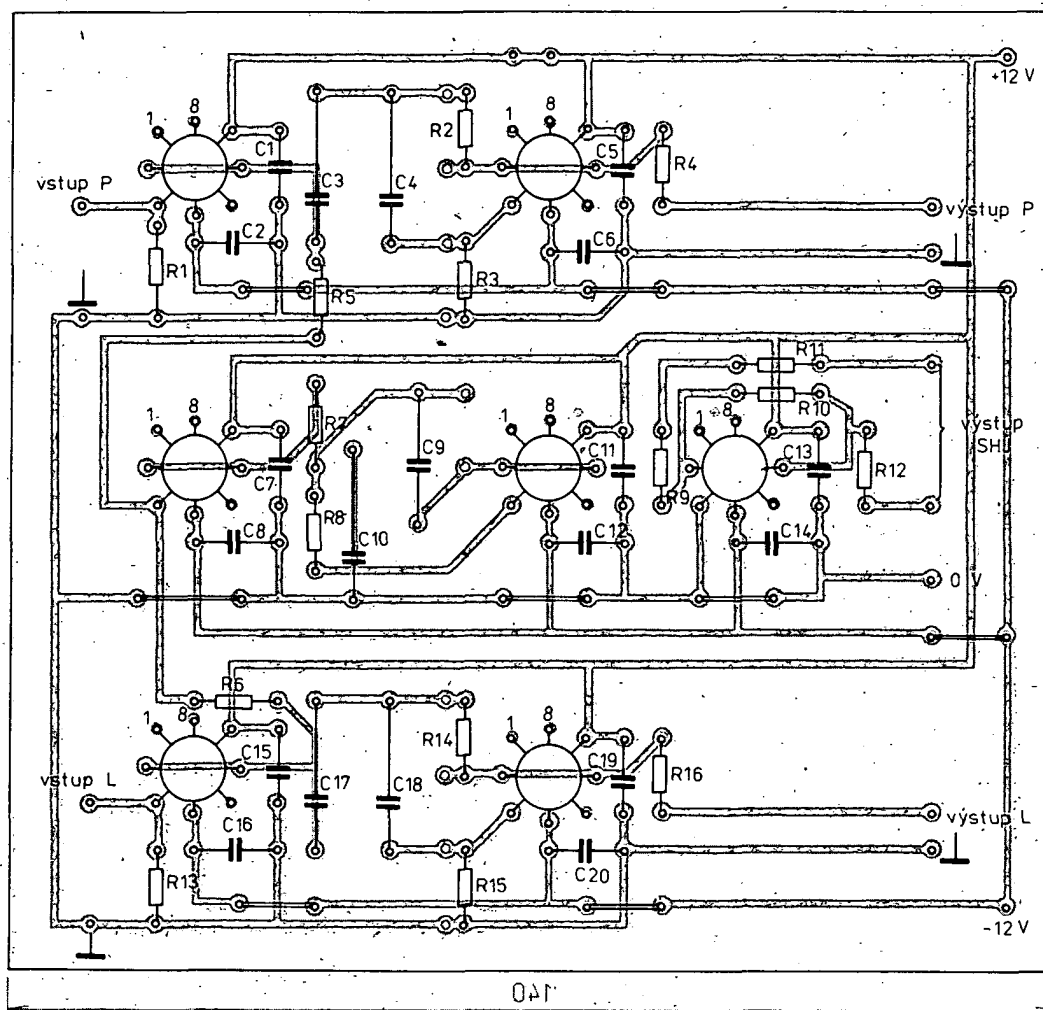
Uvedené nedostatky hlubokotónového reproduktoru lze částečně omezit a tím zmenšit zkreslení při velkých výchylkách membrány – ovšem za předpokladu, že reproduktory budou mít přibližně stejné parametry.

Z výše uvedených důvodů jsme navrhli hlubokotónovou jednotku s malým zkreslením o vnitřním objemu 64 dm³ a s bass-reflexovou ozvučnicí. Tato jednotka se liší od předchozích tím, že reproduktory ani

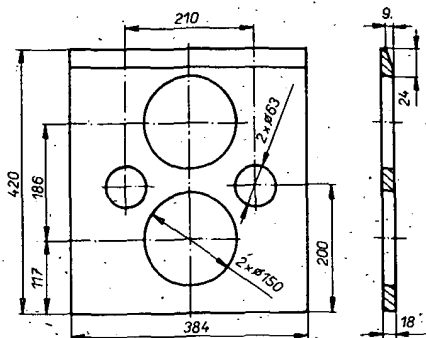


Obr. 57. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice hlubokotónové jednotky s nízkým zkreslením

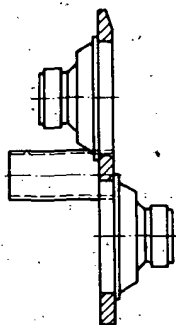
nejsou v tandému, ani nevyzařují ve stejném směru. Řešení ozvučnice, rozměry a konstrukční uspořádání této hlubokotónové jednotky je na obr. 57. Přední stěna této jednotky je na obr. 58. Na této přední stěně jsou dva otvory pro bass-reflexové rezonátory. Reproktory jsou uspořádány tak, že koš jednoho reproduktoru směřuje do ozvučnice a koš druhého reproduktoru ven z ozvučnice. Pro názornost je náčrtek upevnění reproduktorů do



Obr. 56. ... a deska, osazená součástkami.

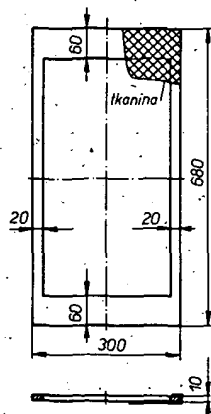


Obr. 58. Přední stěna ozvučnice hlubokotónové jednotky s nízkým zkreslením



Obr. 59. Konstrukční uspořádání přední stěny ozvučnice hlubokotónové jednotky s nízkým zkreslením

přední části ozvučnice na obr. 59. Aby koš reproduktoru nepřechýlil ven z ozvučnice, je přední stěna ozvučnice šikmá (viz obr. 57). Tato přední stěna je upevněna na spodní hranol 20 × 20 mm a je vzdálena 150 mm od přední části ozvučnice. Na přední stěně jsou dva otvory pro bassreflexové rezonátory. Rezonátory jsou z novodurové trubky o vnitřním průměru 59 mm a o délce 130 mm. Pro lepší vzhled této hlubokotónové jednotky jsme navrhli přední rámeček z tvrdého dřeva, který je potažen elastickou hnědou (nebo černou) tkaninou (viz obr. 60).



Obr. 60. Rámeček s tkaninou pro hlubokotónovou jednotku s nízkým zkreslením

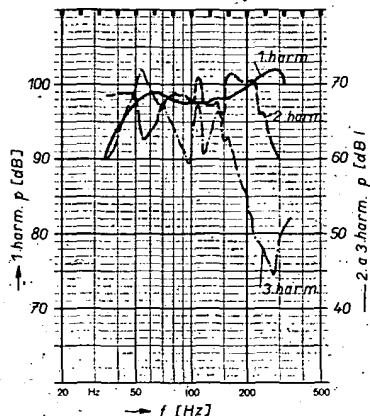
Výhybky

Zapojení reproduktorů u této hlubokotónové jednotky může být sériové či paralelní, záleží na volbě reproduktorů. Dále tato jednotka může být zapojena k běžné-

mu stereofonnímu zesilovači, nebo ke stereofonnímu zesilovači, který má jeden kanál s otočenou polaritou vůči druhému. To znamená, že buď bude signál na nízkých kmitočtech sčítán akusticky nebo elektricky. Výhybky pro tuto soustavu mohou opět být pasivní nebo aktivní a mohou být umístěny uvnitř soustavy nebo mimo soustavu. Z elektrického hlediska je možné tedy zapojit jednotku kterýmkoli ze způsobů A až F, uvedených v kapitole 2. To ovšem už je ponecháno na zájemcích o stavbu této hlubokotónové jednotky s malým zkreslením.

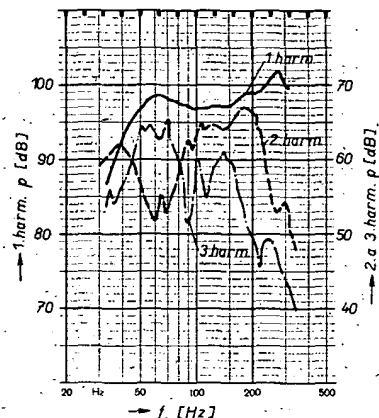
Naměřené výsledky

Uvádíme výsledky měření při uspořádání, kdy oba reproduktory mají koše dovnitř ozvučnice – klasické uspořádání, obr. 61. Na tomto obrázku jsou kmitoč-



Obr. 61. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické hlubokotónové jednotky – uspořádání klasické. Měřeno při příkonu 10 VA ($U_0 = 2 \times 6,32$ V) ve vzdálenosti 1 m

vé charakteristiky první, druhé a třetí harmonické, měřené při příkonu 10 VA. Dále uvádíme výsledky měření při uspořádání, kdy jeden reproduktor má koš dovnitř ozvučnice a druhý ven z ozvučnice tak, jak je naznačeno na obr. 59. Na obr. 62 jsou uvedeny kmitočtové charakteristiky opět první, druhé a třetí harmonické, měřené při příkonu 10 VA. Měření zkreslení v obou případech bylo vyhodnoceno od kmitočtu 40 do 250 Hz. Porovnáme-li tato dvě měření, je prokazatelně vidět, že zkreslení při netradičním uspořádání je menší než v klasickém uspořádání v průměru o 6 dB. Je vidět, že netradiční uspořádání reproduktorů přináší především menší zkreslení, což je jedním z důležitých požadavků u hlubokotónových jed-



Obr. 62. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické hlubokotónové jednotky – uspořádání pro malá zkreslení. Měřeno při příkonu 10 VA ($U_0 = 2 \times 6,32$ V) ve vzdálenosti 1 m

notek. Jedinou nevýhodou vůči uspořádání v tandemu je to, že ozvučnice vyžadují větší vnitřní objem. Vzniká také malý problém, jak uspořádat ozvučnici s reproduktory tak, aby koš reproduktoru, který vyčnívá ven z ozvučnice, byl v úrovni přední stěny ozvučnice.

Technické údaje

Jmenovitá impedance:	4 Ω (8 Ω).
Kmitočtová charakteristika:	40 až f_{d1} Hz.
Max. standardní příkon:	30 VA.
Spíчковý hudební příkon:	60 VA.
Charakteristická citlivost:	87 dB/VA/m.
Použitý reproduktor:	2 × ARN 5604 (2 × ARN 5608)
Druh ozvučnice:	bassreflexová.
Volný objem ozvučnice:	62 dm ³ .
Vnější rozměry (v × š × h):	680 × 420 × 360 mm.
Nelineární zkreslení při příkonu 10 VA	
40 až 125 Hz:	3 %.
125 až 250 Hz:	2 %.

5. Reprodukční soustavy malého objemu – satelity

Popsané hlubokotónové jednotky přenášejí akustické signály nejnižších kmitočtů do kmitočtů 150 až 200 Hz. Nad tímto kmitočtem je třeba navázat další vyzařovací jednotky, které by byly schopné vyzařovat signály až do kmitočtu 18 000 Hz (nebo 20 000 Hz). Reprodukční soustavy malého objemu – satelity – tvoří spolu s hlubokotónovou jednotkou kvalitní reproduktorovou kombinaci schopnou přenášet signály prakticky celého slyšitelného pásma. Satelity mohou být koncipovány s jedním širokopásmovým reproduktorem nebo nejčastěji jako dvoupásmové soustavy.

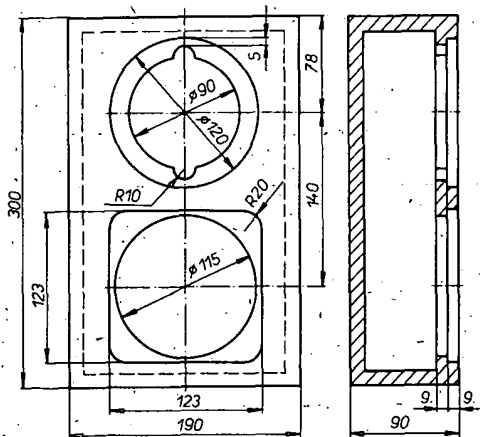
V této kapitole budeme postupně uvádět konstrukční podklady ke zhotovení několika satelitních jednotek, lišících se od sebe objemem, maximálním standardním příkonem a kmitočtovým rozsahem. Konstrukčně jsou řešeny tak, že se dají použít buď jako samostatné reproduktorové soustavy, přenášející pásmo signálů od 50 až 60 Hz do 20 000 Hz nebo v případě dolního mezního kmitočtu okolo 200 Hz jen ve spojení s hlubokotónovou jednotkou (subwoofer).

5.1 Reprodukční soustava o vnitřním objemu 2,7 dm³

Návrh vyzařovacích jednotek

Reprodukční soustava o vnitřním objemu 2,7 dm³ je malá dvoupásmová jednotka určená k reprodukci signálů ve spojení s hlubokotónovou jednotkou o objemu do 35 dm³ a příkonu do 20 VA. Tuto jednotku není možno pro kvalitní reprodukci používat samostatně bez hlubokotónové jednotky, neboť její kmitočtový rozsah je od 200 Hz do 20 000 Hz. Jako samostatná jednotka by splňovala požadavky na reprodukci řeči, nikoli hudebního signálu.

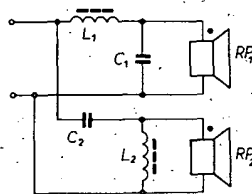
Tato reprodukční soustava je osazena dvěma reproduktory – upraveným středotónovým reproduktorem ARZ 4604 (ARZ 4608) a vysokotónovým reproduktorem ARV 3604 (ARV 3608). Původní reproduktor ARZ 4604 je opatřen válcovým krytem z plastické hmoty o vnitřním objemu asi 1 dm³. Dolní mezní kmitočet reproduktoru je až 300 Hz. Po odstranění krytu a vložení reproduktoru ARZ 4604 do skříňky o objemu 2,7 dm³ se posune jeho dolní mezní kmitočet na 200 Hz, což je postačující pro navázání na hlubokotónovou jednotku.



Obr. 63. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice satelitní jednotky o objemu 2,7 dm³

Řešení ozvučnice

U této reproduktorové soustavy je použita uzavřená ozvučnice, jejíž konstrukční uspořádání a rozměry jsou uvedeny na obr. 63. Hloubka ozvučnice díky upravenému reproduktoru ARZ 4604 mohla být zvolena velmi malá (90 mm), což umožňuje pověsit reproduktorovou soustavu na zeď nebo umístit do velmi malého prostoru bytové stěny nebo knihovny. Před reproduktory této soustavy je možné připevnit rámeček z tvrdého dřeva potažený elastickou tkaninou, perforovaný plech nebo ochranné mřížky z plastické hmoty. Tuto více méně designovou stránku ponecháváme na zájmech o stavbu této



Obr. 64. Schéma zapojení výhybky satelitní jednotky o objemu 2,7 dm³

soustavy. Vnitřní prostor ozvučnice je vyplněn molitanem tl. 3 mm, který je volně uložen v prostoru ozvučnice.

Výhybka soustavy

U soustavy jsme zvolili pasivní výhybku druhého řádu se směrnici kmitočtového průběhu 12 dB/okt. Schéma zapojení výhybky je na obr. 64. Součástky výhybky pro impedance soustavy 4 a 8 Ω jsou uvedeny v tab. 7. Tlumivky jsou vzduchové, samonosné, navinuté na přípravku o Ø 40 mm a šířce 20 mm CuL drátem o Ø 1 mm. Počet závitů pro L₁ je 133, pro L₂ 84 závitů (impedance jednotky 4 Ω). Pro verzi 8 Ω je třeba 192 závitů pro cívku L₁ a 125 závitů pro cívku L₂ (drát má stejný průměr, 1 mm). Dělicí kmitočty výhybky je zvolen poněkud netradičně. Je to způsobeno tím, že indukčnost cívek a kapacity kondenzátorů výhybky byly „dolaďovány“ tak, aby se dosáhlo co nejvyrovnanějšího průběhu kmitočtové charakteristiky soustavy. Zvolíme-li dělicí kmitočty hlubokotónové jednotky $f_{d1} = 200$ Hz (který je roven dolnímu meznímu kmitočtu výše uvedené jednotky), pak v horní propusti pasivní výhybky v hlubokotónové jednot-

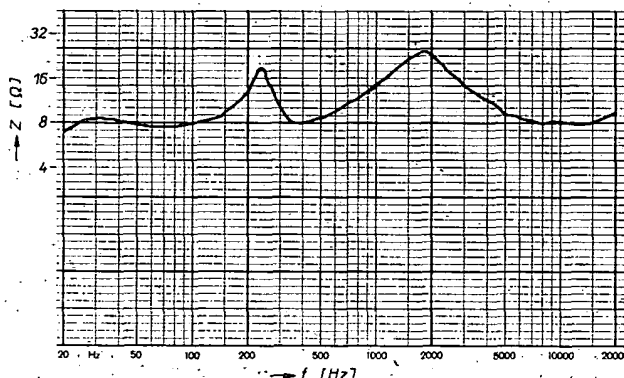
Tab. 7. Údaje součástek výhybky (k obr. 64)

Osazení	Impedance [Ω]	L ₁ [mH]	L ₂ [mH]	C ₁ [μF]	C ₂ [μF]
RP ₁ -ARZ 4604 RP ₂ -ARV 3604	4	0,88	0,38	8	6
RP ₁ -ARZ 4608 RP ₂ -ARV 3608	8	1,75	0,75	4	3

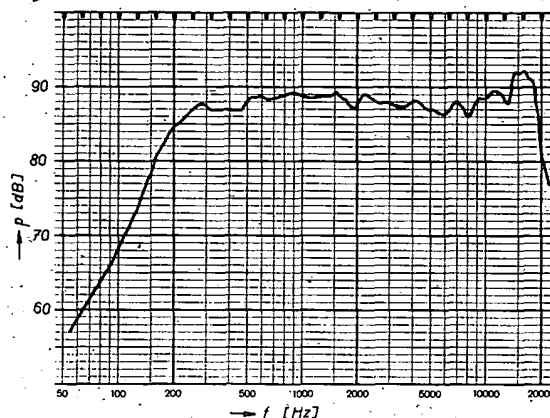
ce odpadnou tlumivky o indukčnosti 16,4 mH. Činnost horní propusti bude totiž nahrazena průběhem kmitočtové charakteristiky výše popsaného satelitu (strmost 12 dB/okt). Pak k oddělení a impedancečinnému přizpůsobení postačí pouze kondenzátor 64 μF.

Naměřené výsledky

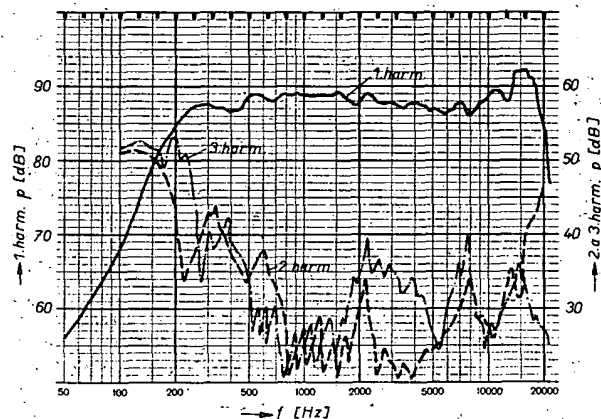
Kmitočtový průběh vstupní impedance této reproduktorové soustavy je uveden na obr. 65. Kmitočtová charakteristika hladiny akustického tlaku je patrná z obr. 66. Byla měřena podle příslušné ČSN při příkonu $P = 1$ VA a vzdálenosti $l = 1$ m. Kmitočtové průběhy harmonických dávají informaci o zkreslení soustavy. Naměřené průběhy první, druhé a třetí harmonické v celém pásmu (100 Hz až 20 000 Hz) jsou na obr. 67. Průběhy byly změřeny při příkonu $P = 1$ VA a vzdálenosti $l = 1$ m od soustavy. Kmitočtové charakteristiky první až třetí harmonické při příkonu $P = 15$ VA ($U_0 = 10,95$ V) ve vzdálenosti $l = 1$ m byly měřeny přes příslušný filtr podle ČSN 36 8265. Naměřené výsledky jsou dokumentovány na obr. 68.



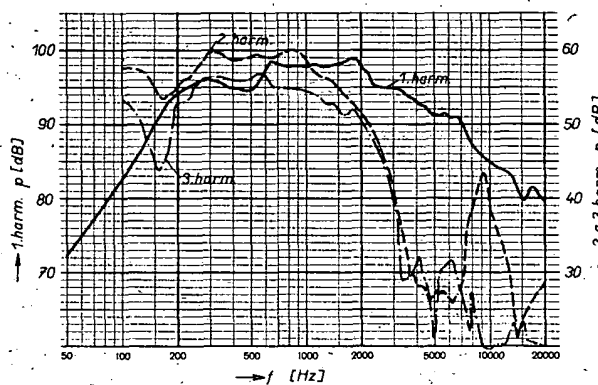
Obr. 65. Kmitočtový průběh vstupní impedance satelitní jednotky o objemu 2,7 dm³



Obr. 66. Kmitočtová charakteristika satelitní jednotky o objemu 2,7 dm³



Obr. 67. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické satelitní jednotky o objemu 2,7 dm³. Měřeno při příkonu 1 VA ($U_0 = 2,83$ V) ve vzdálenosti 1 m



Obr. 68. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické satelitní jednotky o objemu 2,7 dm³. Měřeno při příkonu 15 VA

ření této reproduktorové soustavy malého objemu, dojdeme k závěru, že jde o velmi kvalitní jednotku, určenou pro přenos středních a vysokých kmitočtů. Při provozu ji doporučujeme používat vždy ve spojení s hlubokotónovými jednotkami, neboť samotná má dolní mezní kmitočet 200 Hz.

Technické údaje

Jmenovitá impedance:	8 Ω (4 Ω).
Max. standardní příkon:	20 VA.
Špičkový hudební příkon:	40 VA.
Kmitočtový rozsah	
v tolerančním poli ± 4 dB:	200 až 20 000 Hz.
Charakteristická citlivost:	88 dB/VA/m.
Použité reproduktory:	ARZ 4608; ARV 3608 (ARZ 4604; ARV 3604).
Výhybky:	2. řádu; 12 dB/okt.
Druh ozvučnice:	uzavřená.
Volný objem ozvučnice:	2,5 dm ³ .
Vnější rozměry (v x š x h):	300 x 100 x 90 mm.

V případě, že bychom požadovali kmitočtovou charakteristiku od 180 Hz, je nutný vnitřní objem ozvučnice 3,8 dm³. Rozměry reproduktorové soustavy jsou pak (v x š x h) 320 x 210 x 100 mm. Ostatní parametry stejné jako u soustavy o vnitřním objemu 2,7 dm³.

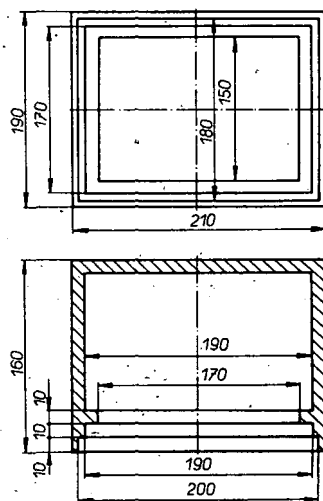
5.2 Reproduktorová soustava o vnitřním objemu 4 dm³

Návrh vizařovacích jednotek

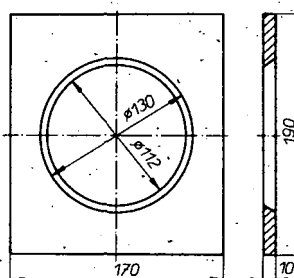
Reproduktorová soustava o vnitřním objemu 4 dm³ je levná a jednoduchá jednopásmová reproduktorová soustava, určená k reprodukci signálů v pásmu 100 Hz až 15 000 Hz se standardním příkonem 15 VA. Je osazena širokopásmovým reproduktorem s označením ARN 4704 (ARN 4708). Tento reproduktor je jedním z nejnovějších výrobků k. p. TESLA Valašské Meziříčí a zřejmě nebude ještě na trhu v takovém množství, aby byli uspokojeni všichni zájemci. Soustava může být použita jako samostatná vizařovací jednotka pro přenos hudebního signálu např. k minivěži. Samozřejmě vzhledem k jejímu objemu je omezen přenos signálů na nízkých kmitočtech. Rezonanční kmitočet použitého reproduktoru je velmi nízký ($f_r = 55$ Hz) a můžeme tedy i při relativně malém vnitřním objemu soustavy dostat velmi uspokojivé výsledky. Přes uvedené možnosti využití reproduktorové soustavy ji doporučujeme provozovat především s hlubokotónovými jednotkami. Hlubokotónová jednotka by měla mít objem od 25 do 35 dm³ a příkon 30 VA. Vzhledem k nízké vizařovací ceně satelitních jednotek bychom navrhovali použít hlubokotónovou jednotku s dvěma reproduktory ARN 5604 (ARN 5608) v tandemu a společný signál vytvořit co nejjednodušším zapojením, tj. např. typu C a D, které byly v kapitole 2.

Řešení ozvučnice

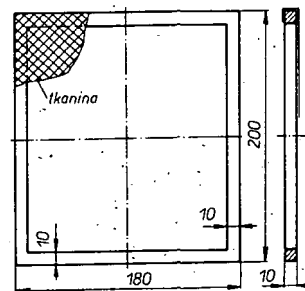
Ozvučnici této soustavy tvoří zcela uzavřená skříňka, jejíž rozměry a konstrukční uspořádání jsou na obr. 69. Stěny ozvučnice jsou zhotoveny z překližky tl. 10 mm. Přední stěna ozvučnice, na kterou je zepředu přišroubován reproduktor ARN 4704 (ARN 4708), je rovněž z překližky tl. 10 mm, její konstrukční výkres je



Obr. 69. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice satelitní jednotky o objemu 4 dm³



Obr. 70. Přední stěna ozvučnice satelitní jednotky o objemu 4 dm³

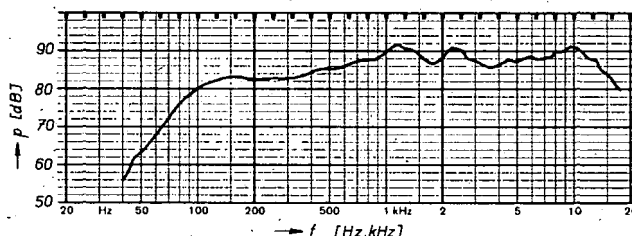


Obr. 71. Rámeček s tkaninou pro satelitní jednotku o objemu 4 dm³

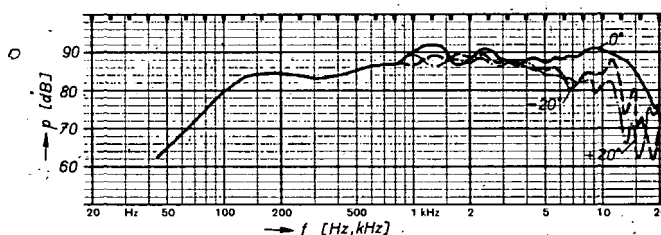
uveden na obr. 70. Membránu reproduktoru chrání rámeček z tvrdého dřeva, potažený prodyšnou elastickou tkaninou (obr. 71). Uvnitř skřínky je asi 100 g molitanu tl. 3 mm. Povrchovou úpravu ponecháme na čtenářích, kteří ji zřejmě přizpůsobí úpravě hlubokotónové jednotky tak, aby s ní byla v souladu.

Naměřené výsledky

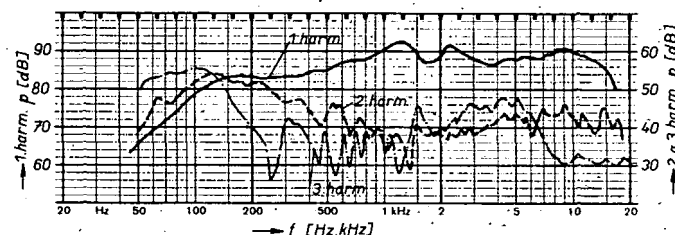
U této satelitní jednotky jsme změřili řadu parametrů, z nichž některé uvádíme v následujících obrázcích. Kmitočtová charakteristika hladiny akustického tlaku je na obr. 72, byla změřena při příkonu $P = 1$ VA ve vzdálenosti $l = 1$ m od soustavy. Dále byly měřeny směrové vlastnosti při úhlech $\pm 20^\circ$ (obr. 73). Průběhy první, druhé a třetí harmonické, dávající informaci o zesílení soustavy, jsou na obr. 74. Výsledky uváděných měření řadí reproduktorovou soustavu o vnitřním objemu 4 dm³ do střední kvalitativní třídy. Ve spojení s hlubokotónovou jednotkou však vzniká poměrně kvalitní reprodukční zařízení.



Obr. 72. Kmitočtová charakteristika satelitní jednotky o objemu 4 dm³



Obr. 73. Směrové vlastnosti satelitní jednotky o objemu 4 dm³



Obr. 74. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické satelitní jednotky o objemu 4 dm³

Jmenovitá impedance:	4 Ω (8 Ω).
Max. standardní příkon:	15 VA.
Špičkový hudební příkon:	30 VA.
Kmitočtový rozsah	
v tolerančním poli ± 5 dB:	100 Hz až 16 000 Hz.
Charakteristická citlivost:	88 dB/1 VA/1 m.
Použití reproduktory:	ARN 4704 (ARN 4708)
Druh ozvučnice:	uzavřená.
Volný objem:	3,8 dm ³ .
Rozměry (v x š x h):	210 x 190 x 160 mm.

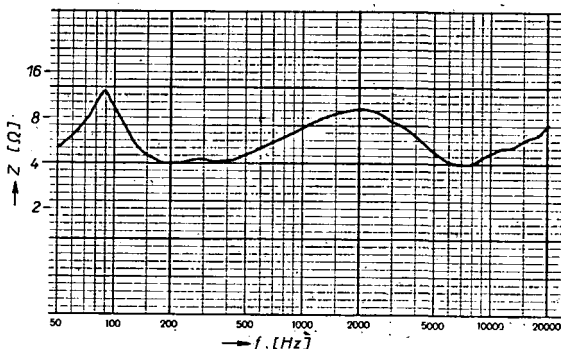
Návrh vyzařovacích jednotek

Řešení ozvučnice

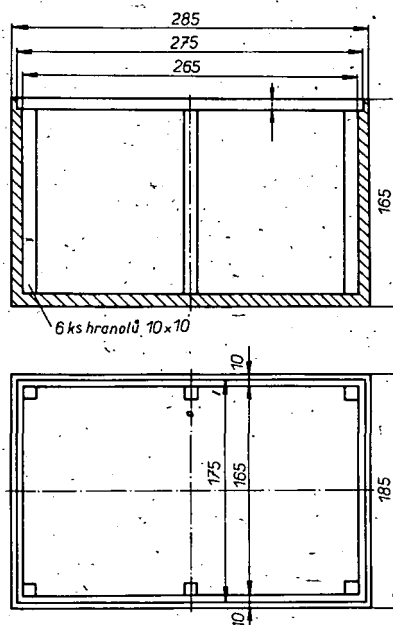
Na přední stěnu ozvučnice upevníme rámeček z tvrdého dřeva, který je potažen elastickou dostatečně prodyšnou tkaninou, která jednak slouží k ochraně membrán reproduktorů před mechanickým poškozením a jednak udává vnější vzhled soustavy. Rámeček je obvyklé konstruovat jako v předešlých případech. Jako tlumění ozvučnice je použito asi 160 g molitanu tl. 3 mm, rozloženého po celém objemu skříňky.

Výhybky

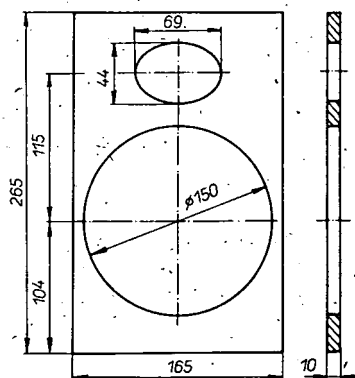
Výhybka pro tuto soustavu je 1. řádu se strmostí kmitočtové charakteristiky 6 dB/okt. V jednotce jsou použity nejlevnější reproduktory, proto jsme volili i jednoduchou nenákladnou výhybku. Sché-



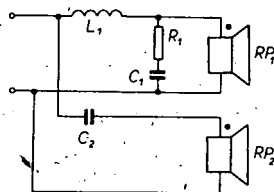
Obr. 78. Kmitočtový průběh vstupní impedance satelitní jednotky o objemu 5,5 dm³



Obr. 75. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice satelitní jednotky o objemu $5,5 \text{ dm}^3$



Obr. 76. Přední deska ozvučnice satelitní jednotky o objemu $5,5 \text{ dm}^3$



Obr. 77. Schéma zapojení satelitní jednotky o objemu 5,5 dm³

ma zapojení výhybky je na obr. 77. Údaje stavebních prvků jsou pro impedanci 4 Ω a 8 Ω v tab. 8. Tlumivky o indukčnosti 0,5 mH nebo 1 mH jsou vzduchové samonosné, vinuté na přípravku o \varnothing 40 mm a šířce 20 mm. Tlumivka s indukčností 0,5 mH je vinuta drátem CuL o \varnothing 1 mm a počet závitů je 100. Pro indukčnost 1 mH je počet závitů 145 drátu stejné tloušťky. Kondenzátor C_2 je složen z kondenzátorů o kapacitě 2 μ F (pro impedanci 4 Ω), nebo 2 μ F a 1 μ F (pro 8 Ω). Kondenzátory jsou typu TC 450, MP. Kondenzátor C_1 v členu RC, kompenzující zvětšování impedance hlubokotónového reproduktoru nad rezonančním kmitočtem, je elektrolytický typu TE 988.

Naměřené výsledky

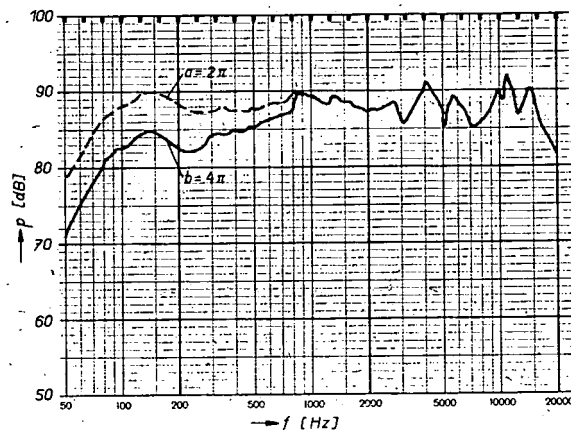
Podle výsledků měření a dalších zkoušek lze tuto vyzářovací jednotku zařadit mezi výrobky dobré kvality. Svými vlastnostmi je určena k ozvučení menších bytových prostorů. Ve spojení s hlubokotónovou jednotkou vzniká pak kvalitní reprodukční zařízení určené k reprodukci stereofonních signálů.

Technické parametry

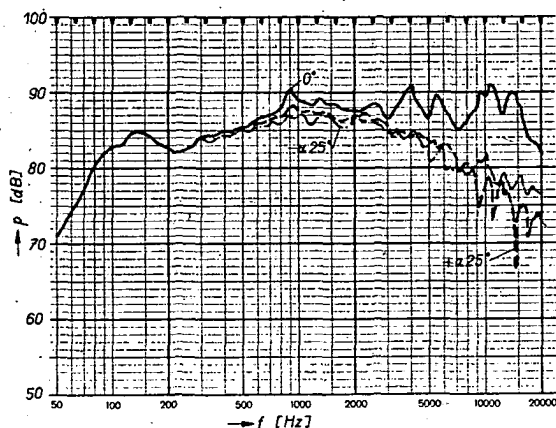
Jmenovitá impedance:	4 Ω (8 Ω).
Max. standardní příkon:	15 VA.
Špičkový hudební příkon:	30 VA.
Kmitočtový rozsah v tolerančním poli B podle ČSN:	70 Hz až 16 000 Hz.
Charakteristická citlivost:	86 dB/1 VA/1 m.
Použité reproduktory:	ARN 5604, ARV 081 (ARN 5608, ARV 088).
Výhybka:	1. řádu; 6 dB/okt.
Druh ozvučnice:	uzavřená.
Vlnivý objem:	5 dm ³ .
Rozměry (v x š x h):	285 x 185 x 165 mm.

Tab. 8. Údaje součástí výhybky

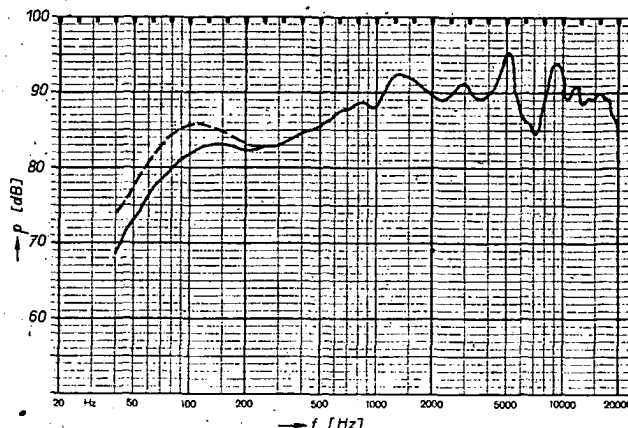
Osazeni	Impedance [Ω]	L ₁ [mH]	C ₁ [μF]	C ₂ [μF]	R ₁ [Ω]
RP ₁ -ARN 5604 RP ₂ -ARV 081	4	0,5	20	6	3,9
RP ₁ -ARN 5608 RP ₂ -ARV 088	8	1,0	10	3	8,2



Obr. 79. Kmitočtová charakteristika satelitní jednotky o objemu $5,5 \text{ dm}^3$



Obr. 80. Směrové vlastnosti satelitní jednotky o objemu 5,5 dm³



Obr. 85. Kmitočtová charakteristika satelitní jednotky o objemu 9 dm³

5.4 Reproduktorová soustava o vnitřním objemu 9 dm³

Návrh vyzařovacích jednotek

Reproduktorová soustava o vnitřním objemu 9 dm³ je dvoupásmová jednotka s uzavřenou ozvučnicí a standardním příkonem 15 VA. Je určena pro kvalitní přenos stereofonního signálu buď jako samostatná nebo ve spojení s hlubokotónovou jednotkou. Pro přenos nízkých a středních kmitočtů je osazena reproduktorem ARN 5604 v případě jmenovité impedance soustavy 4 Ω, pro verzi 8 Ω reproduktorem ARN 5608. Pro přenos vysokých kmitočtů je pro impedanci 4 Ω použit vysokotónový reproduktor ARV 161. Pro soustavu 8 Ω použijeme reproduktor ARV 168.

Řešení ozvučnice

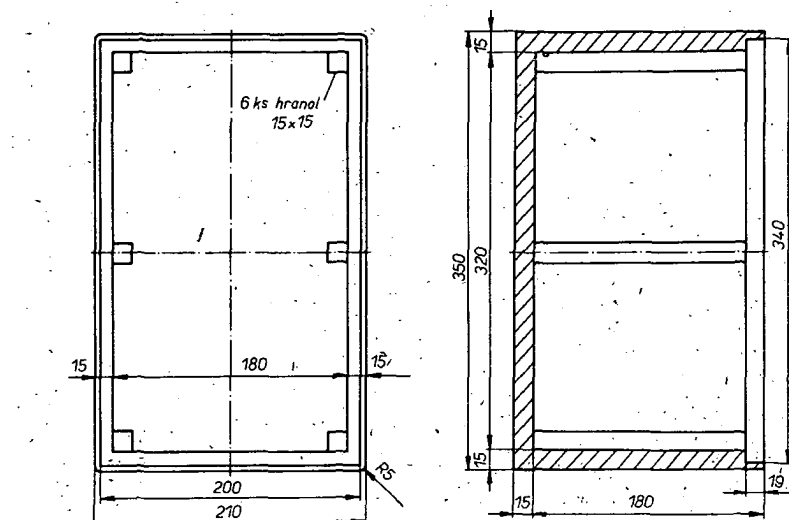
Ozvučnice této reproduktorové soustavy je zcela uzavřená skříňka, jejíž rozměry a konstrukční uspořádání jsou na obr. 81. Stěny ozvučnice jsou zhotoveny z překližky tl: 15 mm. Přední stěna ozvučnice, na kterou jsou připevněny reproduktory, je rovněž z překližky 15 mm a její konstrukční výkres je na obr. 82. Povrchovou úpravu ponecháme na vlastním výběru a návrhu zájemce o stavbu této jednotky. Ochranný rámeček z tvrdého dřeva je potažen elastickou průzvučnou tkaninou (je na obr. 83). Může být ovšem zhotoven i např. z perforovaného plechu nebo plastické hmoty. Budeme-li používat tyto jednotky ve spojení s hlubokotónovou jednotkou, doporučujeme přizpůsobit druh povrchové úpravy, tvar ozvučnice a přední rámeček vzhledu hlubokotónové jednotky, aby dílčí jednotky vytvořili po designové stránce jednotné reprodukční zařízení.

Výhybky

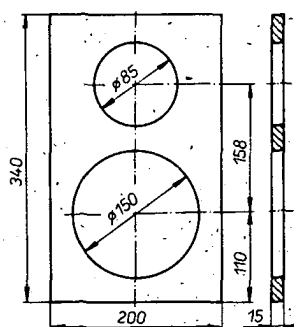
Výhybky pro tuto soustavu opět s ohledem na pořizovací ceny reproduktorů zvolíme velmi jednoduchou. Reproduktoři vzájemně oddělíme pouze jedním kondenzátorem MP, pro impedanci 4 Ω použijeme kondenzátor s kapacitou $C = 4 \mu\text{F}$ a pro impedanci 8 Ω $C = 2 \mu\text{F}$. Schéma zapojení této jednoduché výhybky je na obr. 84.

Naměřené výsledky

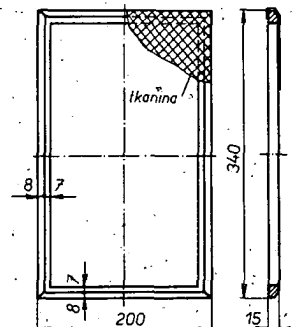
Kmitočtovou charakteristiku hladiny akustického tlaku uvádíme na obr. 85. Byla měřena při příkonu $P = 1 \text{ VA}$ ve vzdálenosti $l = 1 \text{ m}$ od soustavy. Měření v blízkém poli je na kmitočtové charakteristice zaznamenáno čárkovaně. Informaci o zkrácení reproduktorové soustavy udávají průběhy první až třetí harmonické, měřené při příkonu $P = 2,5 \text{ VA}$ ve vzdálenosti $l = 1 \text{ m}$. Výsledky měření jsou na obr. 86. U této jednotky jsme měřili úroveň harmonických při větším vybuzení ($P = 16 \text{ VA}$) a změřené údaje se pohybovaly hluboko pod požadavky na zkrácení podle ČSN. Použití této satelitní jednotky



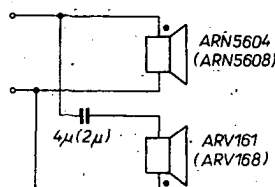
Obr. 81. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice satelitní jednotky o objemu 9 dm³



Obr. 82. Přední deska ozvučnice satelitní jednotky o objemu 9 dm³



Obr. 83. Rámeček s tkaninou pro satelitní jednotky o objemu 9 dm³

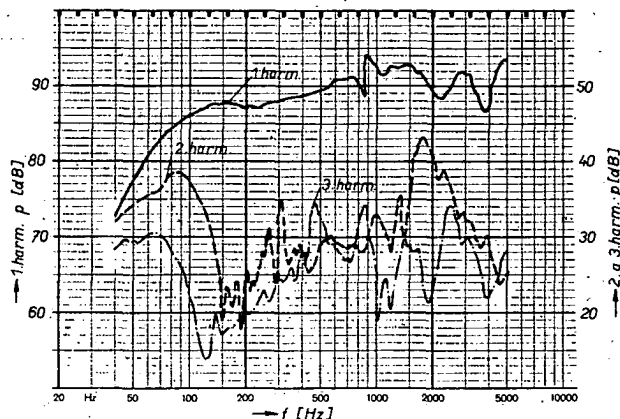


Obr. 84. Schéma zapojení výhybkysatelitní jednotky o objemu 9 dm³

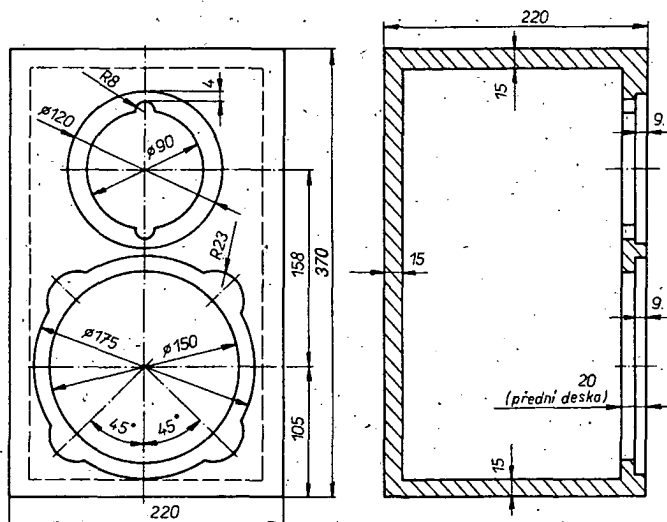
je vzhledem k její jednoduchosti možno doporučit k pasívním hlubokotónovým jednotkám jednoduché koncepce, např. z článků 2, 3 a 4 kapitoly 4.

Technické parametry

Jmenovitá impedance:	4 Ω (8 Ω).
Max. standardní příkon:	15 VA.
Špičkový hudební příkon:	30 VA.
Kmitočtový rozsah v tolerančním poli B podle ČSN:	60 Hz až 18 000 Hz.
Charakteristická citlivost:	86 dB/1 VA/1 m.
Použité reproduktory:	ARN 5604, ARV 161 (ARN 5608, ARV 168), oddělovací kondenzátor:
Výhybka:	uzavřená.
Druh ozvučnice:	8,5 dm³.
Volný objem:	350 x 210 x 195 mm.
Rozměry (v x š x h):	



Obr. 86. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické satelitní jednotky o objemu 9 dm³



Obr. 87. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice satelitní jednotky o objemu 12 dm³

5.5 Reproduktorová soustava o vnitřním objemu 12 dm³

Návrh vyzářovacích jednotek

Reproduktorová soustava o vnitřním objemu 12 dm³ je dvoupásmová soustava s uzavřenou ozvučnicí o standardním příkonu 20 VA. Je to soustava s kvalitními parametry, schopná přenášet kmitočtové pásmo od 50 Hz do 20 000 Hz s velmi vyrovnaným kmitočtovým průběhem. To znamená, že se dvěma jednotkami lze stereofonním signálem ozvučit kvalitně běžné obytné místnosti. Ještě lepších výsledků dosáhneme, jestliže tyto dvě jednotky připojíme k hlubokotónové jednotce o větším příkonu (30 VA) s vnitřním objemem 69 dm³ nebo 78 dm³. Pak získáme velmi kvalitní reprodukční zařízení schopné přenášet celé akustické pásmo signálů.

Pro přenos nízkých a středních kmitočtů je použit reproduktor ARN 5604 pro impedanci soustavy 4 Ω. Při požadavku impedance 8 Ω použijeme reproduktor ARN 5608. Přenos vysokých kmitočtů zajišťuje reproduktor ARV 3604 (pro impedanci 8 Ω typ ARV 3608).

Řešení ozvučnice

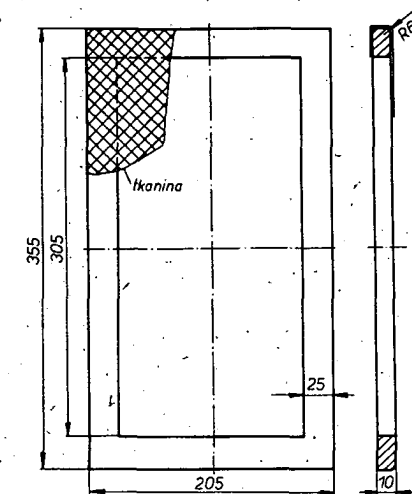
Konstrukční uspořádání a rozměry ozvučnice jsou na obr. 87. Stěny ozvučnice jsou zhotoveny z překližky tl. 15 mm. Přední stěna ozvučnice je slepena ze dvou překližek tl. 10 mm. Všechny stěny jsou velmi pevně k sobě spojeny a sklizeny tak, aby ozvučnice byla kompaktní a neprodyšná. Vnitřní prostor je tlumen molitanem tl. 3 mm. Před reproduktory je připevněn rámeček z tvrdého dřeva potažený prodyšnou elastickou tkaninou. Konstrukční výkres s potřebnými rozměry je uveden na obr. 88.

Výhybky

Pro tuto dvoupásmovou soustavu jsme zvolili výhybku druhého řádu se strmostí 12 dB/okt. Schéma výhybky je na obr. 89.

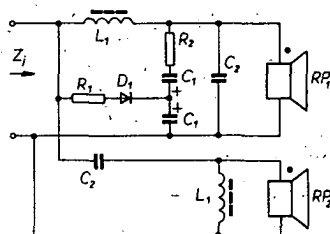
Tab. 9. Údaje součástek výhybky

Osazení	Impedance [Ω]	L ₁ [mH]	C ₁ [μF]	C ₂ [μF]	R ₁ [Ω]	R ₂ [Ω]	D ₁
RP ₁ -ARN 5604 RP ₂ -ARV 3604	4	0,5	50	8	100	2,7	KA207
RP ₁ -ARN 5608 RP ₂ -ARV 3608	8	1	20	4	100	8,2	KA207

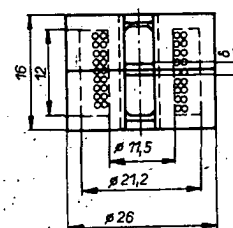


Obr. 88. Rámeček s tkaninou pro satelitní jednotky o objemu 12 dm³

Údaje potřebných součástek jsou jak pro impedanci soustavy 4 Ω, tak 8 Ω v tab. 9. Tlumivky L₁ a L₂ jsou zhotoveny na feritovém jádru H 12 s konstantou A_L = 160 (viz obr. 90). Pro indukčnost 0,5 mH je třeba 56 závitů drátu CuL o průměru 0,56 mm. Pro indukčnost 1 mH je třeba 82 závitů téhož drátu. Všechny součástky tvořící výhybku připájíme na desku s plošnými spoji, jejíž předloha je na obr. 91. Rozložení součástek je na obr. 92.



Obr. 89. Schéma zapojení výhybky satelitní jednotky o objemu 12 dm³



Obr. 90. Tlumivka na feritovém jádře pro satelitní jednotky o objemu 12 dm³

Naměřené výsledky

Průběh svorkového napětí na reproduktorech při konstantním napětí na vstupu jednotky je na obr. 93. Kmitočtový průběh vstupní impedance jednotky je na obr. 94. Kmitočtovou charakteristiku hladiny akustického tlaku soustavy uvádíme na obr. 95, je měřena jak v prostoru (4π), tak v poloprostoru (2π). Směrové vlastnosti soustavy, měřené v akustické komoře, v horizontální a vertikální rovině jsou na obr. 96 a 97. Z uvedených a mnoha dalších objektivních i subjektivních měření můžeme konstatovat, že jde o kvalitní dvoupásmovou soustavu.

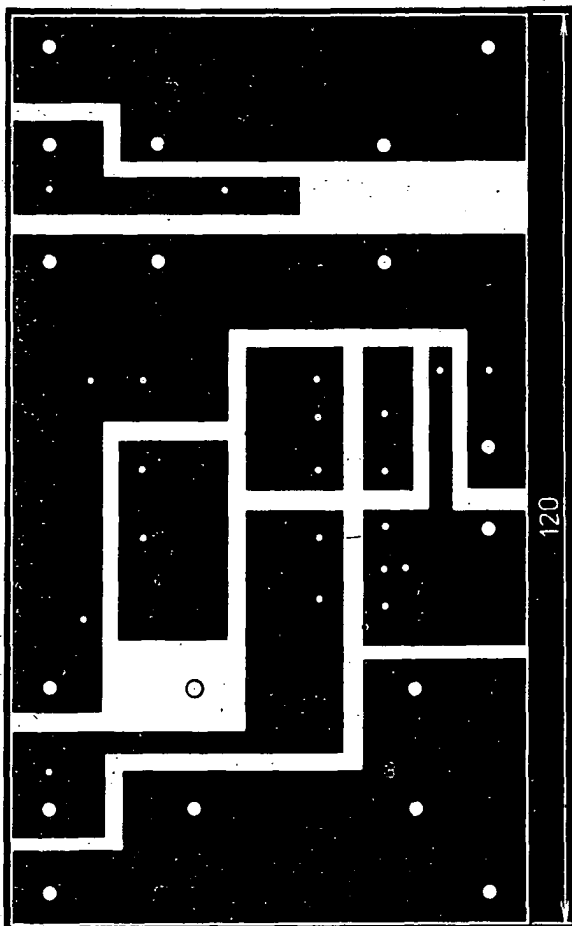
Technické parametry

Jmenovitá impedance:	4 Ω (8 Ω).
Max. standardní příkon:	20 VA.
Špičkový hudební příkon:	40 VA.
Kmitočtový rozsah v tolerančním poli A podle ČSN:	50 Hz až 20 000 Hz.
Charakteristická citlivost:	86 dB/1 VA/1 m.
Použité reproduktory:	ARN 5604, ARV 3604 (ARN 5608, ARV 3608).
Výhybky:	2. řádu; 12 dB/okt.
Druh ozvučnice:	uzavřená.
Volný objem:	11,3 dm ³ .
Rozměry (v × š × h):	370 × 220 × 220 mm.

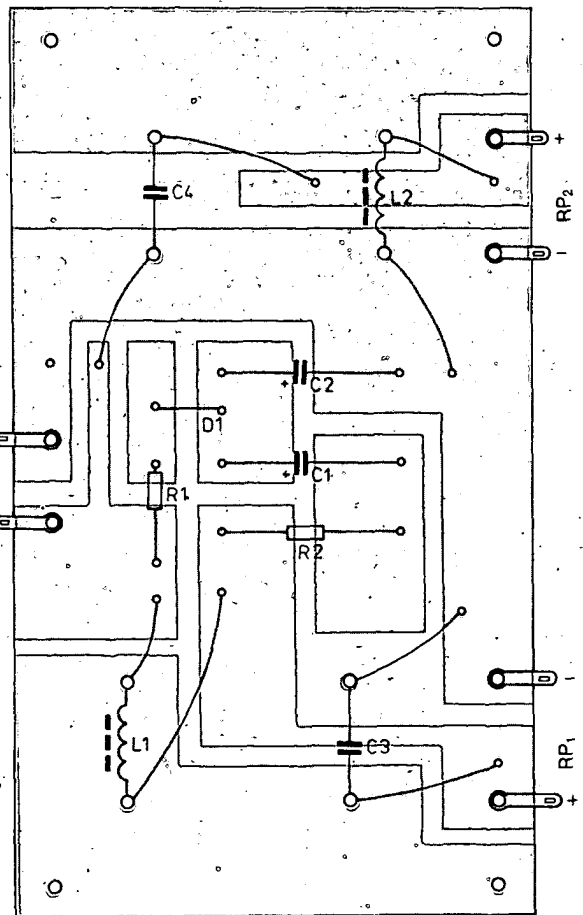
6. Třípásmová soustava o vnitřním objemu 37 dm³

Návrh vyzářovacích jednotek

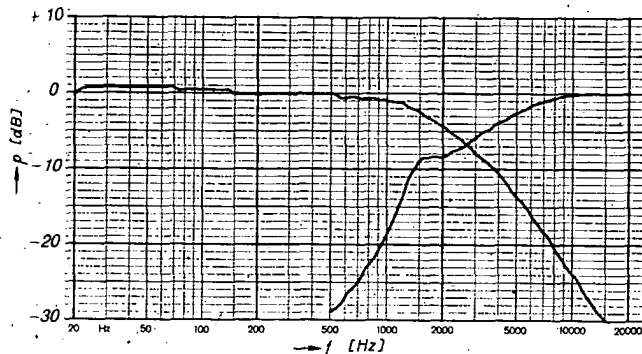
Pro zájemce a zastávce klasických reproduktorových soustav navrhujeme soustavu moderního provedení s bassreflexovou ozvučnicí o vnitřním objemu



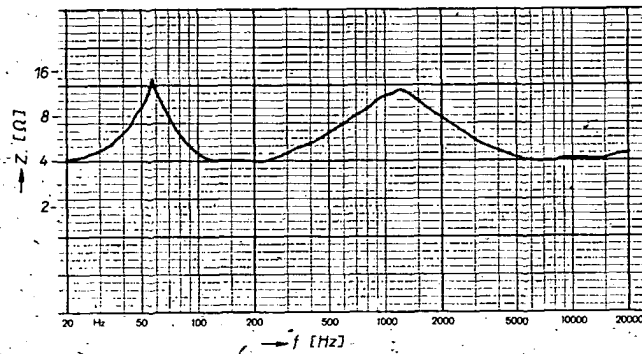
Obr. 91. Předloha pro zhotovení desky s plošnými spoji výhybky pro satelitní jednotky o objemu 12 dm³



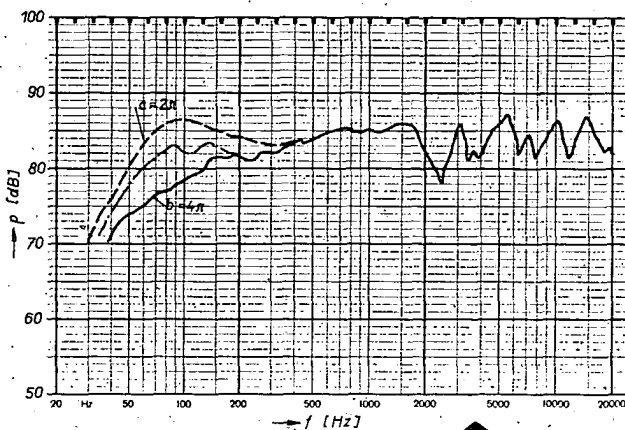
Obr. 92. Rozložení součástek výhybek pro satelitní jednotky o objemu 12 dm³



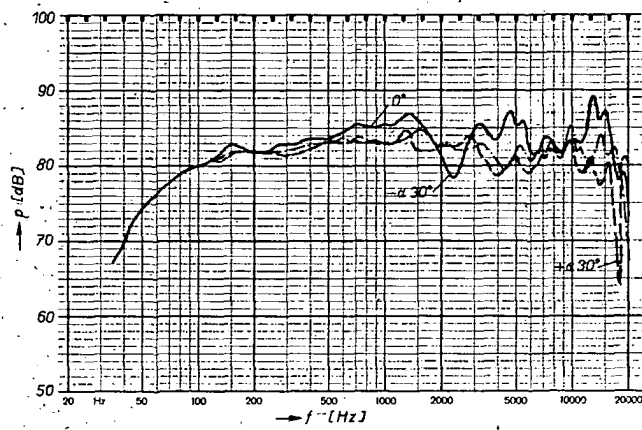
Obr. 93. Průběh svorkového napětí výhybky satelitní jednotky o objemu 12 dm³



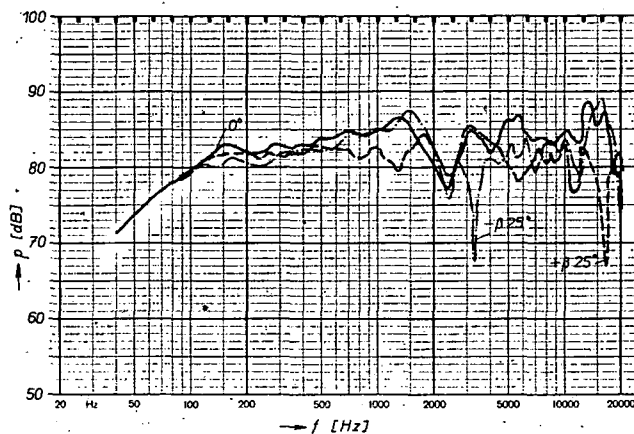
Obr. 94. Kmitočtový průběh vstupní impedance satelitní jednotky o objemu 12 dm³



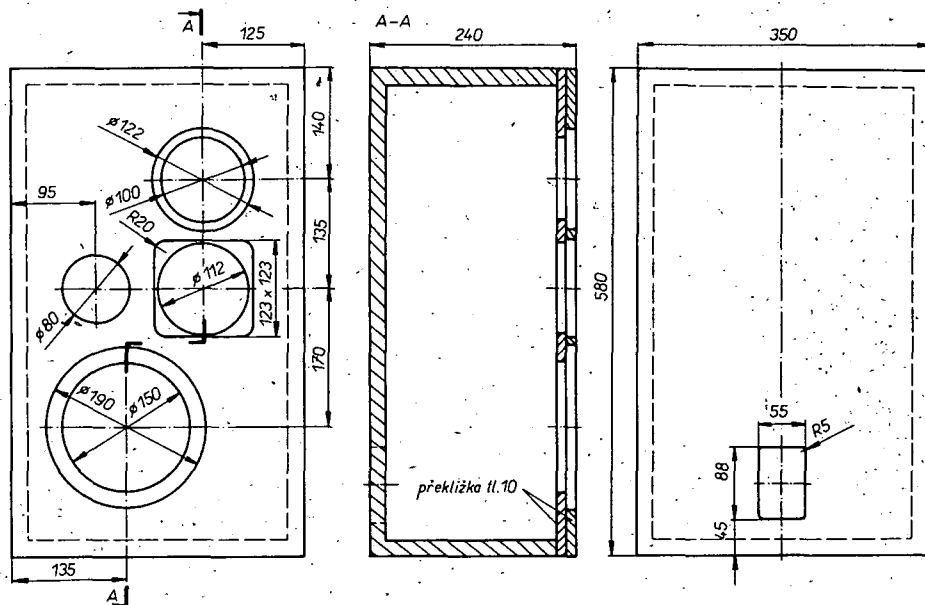
Obr. 95. Kmitočtová charakteristika satelitní jednotky o objemu 12 dm³



Obr. 96. Směrové vlastnosti satelitní jednotky o objemu 12 dm³ v horizontální rovině



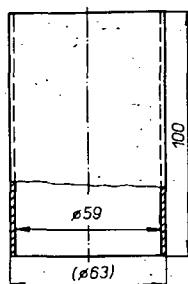
Obr. 97. Směrové vlastnosti satelitní jednotky o objemu 12 dm³ ve vertikální rovině



Obr. 98. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice třípásmové reproduktorové soustavy o objemu 37 dm³

37 dm³ a maximálním hudebním příkonu 45 VA. Je osazena hlubokotónovým reproduktorem ARN 5608, středotónovým reproduktorem ARZ 4608 a vysokotónovým reproduktorem ARV 3608. Při návrhu této soustavy s bassreflexovou ozvučnicí jsme vycházeli z těchto parametrů hlubokotónového reproduktoru ARN 5608:

imenovitá impedance:	$Z_j = 8 \Omega$
odpor vinutí kmitací cívky:	$R_v = 7,8 \Omega$
imenovitý příkon:	$P = 15 \text{ VA}$
špičkový příkon:	$P_s = 45 \text{ VA}$
akustická hmotnost kmitacího systému:	$m_{a1} = 64 \text{ kg/m}^4$
Rezonanční kmitočet:	$f_r = 38 \text{ Hz}$
činitel jakosti (elektrický):	$Q_{el,r} = 0,5$
činitel jakosti (celkový):	$Q_{c,r} = 0,45$
charakteristická citlivost:	$\eta = 89 \text{ dB/VA/m}$



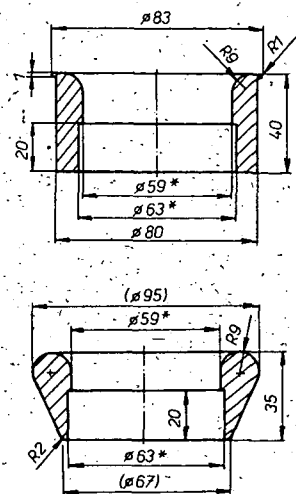
Obr. 99. Bassreflexový rezonátor

Řešení ozvučnice

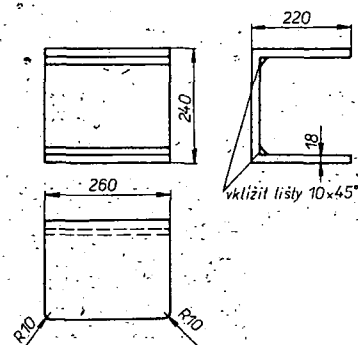
Z uvedených údajů hlubokotónového reproduktoru vypočteme potřebné parametry bassreflexové ozvučnice. Při návrhu vycházíme ze vztahů uvedených v kapitole 3. Dolní mezní kmitočet při vnitřním objemu ozvučnice 37 dm³ bude $f_d = 39 \text{ Hz}$. Rezonanční kmitočet ozvučnice s bassreflexovým rezonátorem pak bude $f_{ozv} = 37 \text{ Hz}$. Při zvoleném vnitřním průměru $D = 59 \text{ mm}$ hrdla rezonátoru bude jeho délka (efektivní) $l = 125 \text{ mm}$. Při těchto rozměrech realizujeme potřebnou akustickou hmotnost vzduchu rezonátoru m , jejíž velikost je 76 kg/m^4 . Minimální rychlost vzduchu v hrdle rezonátoru při dolním mezním kmitočtu $f_d = 39 \text{ Hz}$ bude 9 m/s . Základní konstrukční uspořádání ozvučnice a její rozměry jsou patrné z obr. 98. Přední deska ozvučnice je slepena ze dvou překližek tl. 10 mm, což usnadní zapuštění vysokotónového a středotónového reproduktoru, aby jejich přední hrana lícovala s přední stěnou ozvučnice.

U druhé ozvučnice stereofonní soustavy je zapotřebí zhotovit přední desku zrcadlově, aby při umístění reproduktorových soustav v poslechovém prostoru byly reproduktory situovány symetricky.

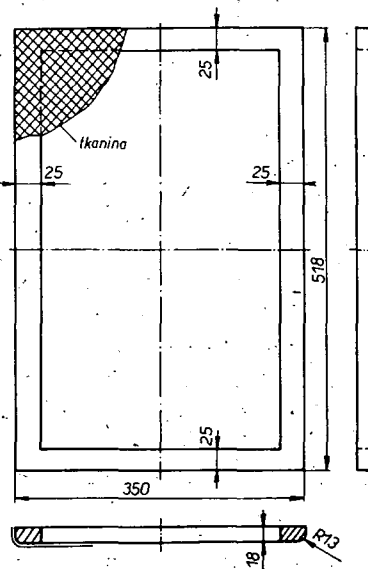
Velikost a průměr bassreflexového rezonátoru zhotoveného z novodurové trubky je vidět na obr. 99. Ke zmenšení nežádoucích turbulencí vzduchu na vstupu a výstupu rezonátoru doporučujeme hrany na obou stranách zaoblit nebo použít obdobné nástavce, které byly popsány u rezonátorů u hlubokotónových



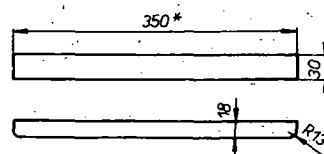
Obr. 100. Vnější a vnitřní nástavec bass-reflexového rezonátoru



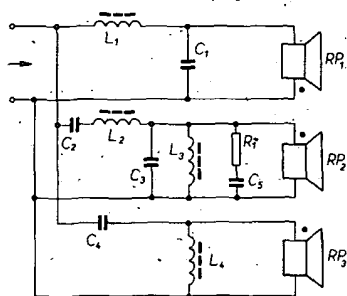
Obr. 101. Stojánek pro třípásmovou reproduktorovou soustavu o objemu 37 dm³



Obr. 102. Rámeček s tkaninou pro třípásmovou reproduktorovou soustavu o objemu 37 dm³



Obr. 103. Ozdobná lišta pro třípásmovou reproduktorovou soustavu o objemu 37 dm³



Obr. 105. Schéma zapojení třípásmové soustavy o objemu 37 dm³

jednotkách (rozměry a tvar jsou na obr. 100). Při sestavování je nutno dát důraz na důkladné utěsnění ozvučnice. (Těsnit jak přední desku k ozvučnici, tak reproduktory na přední desku.) Nejvhodnějším materiálem jsou v tomto případě molitanové samolepicí pásy, používané k těsnění oken. Pro dobrý vzhled a optimální umístění doporučujeme zhotovit stojánek z tvrdého dřeva (obr. 101). Pro ochranu membrán reproduktorů a celkový vzhled ozvučnice uvádíme rámeček též z tvrdého dřeva, potažený elastickou tkaninou (obr. 102).

Ke zlepšení celkového vzhledu soustavy jsou rámečky chránící membrány reproduktorů zakončeny v horní i spodní části ozdobnými lištami ze dřeva (obr. 103).

Výhybka soustavy

Pro tuto třípásmovou soustavu je zvolena výhybka druhého řádu s útlumem 12 dB/okt. Schéma výhybky je na obr. 105. Dělicí kmitočet pro výhybku hlubokotónového reproduktoru ARN 5608 zvolíme $f_{d1} = 621$ Hz (hlavním hlediskem volby dělicího kmitočtu je vyráběná řada kondenzátorů MP (16 µF a 32 µF). V tab. 10 jsou shrnuty údaje součástek výhybek pro reproduktorové soustavy o impedanci 4 a 8 Ω.

Návrh tlumivek pro soustavu o impedanci 8 Ω

Výhybka pro hlubokotónový reproduktor

Dělicí kmitočet je $f_{d1} = 621$ Hz, kondenzátor $C_1 = 16$ µF, MP, TC 653/160 V, tlumivka $L_1 = 4,1$ mH. Použito jádro z transformátorových plechů typu EI 16, tloušťka svazku 16 mm. Vinutí je z lakovaného drátu Cu o Ø 0,8 až 0,82 mm, počet závitů $N = 133$. Odpor vinutí $R_1 = 0,41$ až $0,43$ Ω. Celková vzduchová mezera jádra $\delta = 1,6$ mm (vločka tloušťky 0,8 mm mezi čelem části E a příložkou I).

Výhybka pro středotónový reproduktor

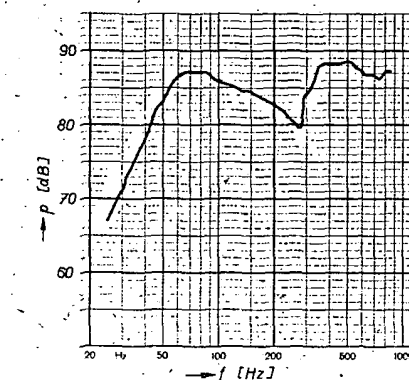
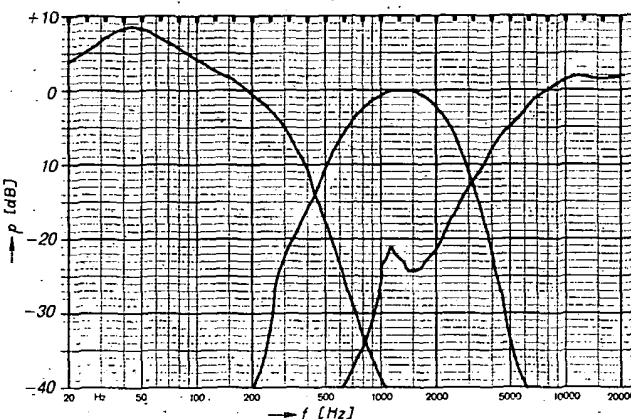
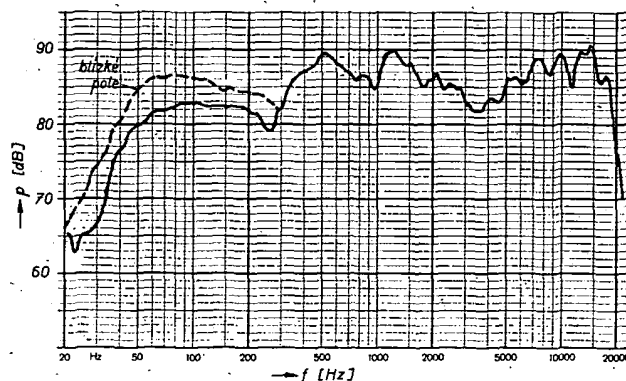
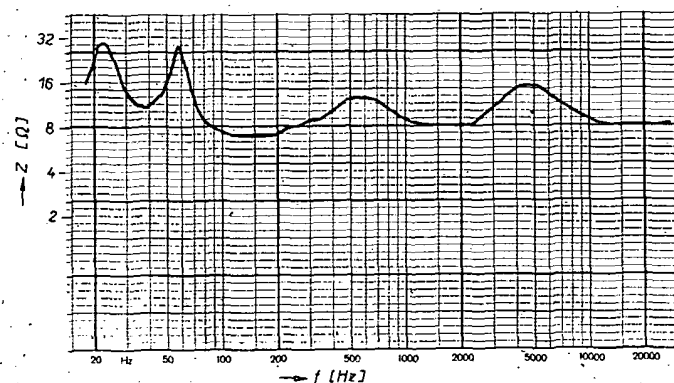
Dělicí kmitočty jsou $f_{d1} = 621$ Hz, $f_{d2} = 3310$ Hz.

Tlumivka $L_2 = 0,77$ mH je navinuta na feritovém hrníčkovém jádru o rozměrech Ø 36 × 22 mm a konstantě $A_L = 160$. Počet závitů $N = 69$, průměr vodiče 0,8 mm CuL, odpor vinutí $R = 0,17$ Ω. Pokud nemáme k dispozici uvedené feritové jádro, pak lze zvolit feritové jádro o rozměrech Ø 26 × 16 mm, konstanta $A_L = 160$, počet závitů $N = 69$, průměr vodiče $d = 0,4$ mm a odpor vinutí $R = 0,48$ Ω.

Tlumivka $L_3 = 4,1$ mH může být navinuta na feritovém jádru jako L_1 nebo ještě lépe na feritovém jádru o Ø 36 × 22 mm o konstantě $A_L = 400$. Počet závitů

Tab. 10. Údaje součástek výhybky z obr. 105

Osazení	Impedance [Ω]	L_1 [mH]	L_2 [mH]	L_3 [mH]	L_4 [mH]	C_1 [µF]	C_2 [µF]	C_3 [µF]	C_4 [µF]	C_5 [µF]	R_1 [Ω]
RP ₁ -ARN 5604 RP ₂ -ARZ 4604 RP ₃ -ARV 3604	4	2,05	0,38	2,05	0,38	32	32	6	6	10	4,7
RP ₁ -ARN 5608 RP ₂ -ARZ 4608 RP ₃ -ARV 3608	8	4,1	0,77	4,1	0,77	16	16	3	3	5	10



Obr. 106. Kmitočtový průběh vstupní impedance třípásmové soustavy o objemu 37 dm³

Obr. 107. Kmitočtová charakteristika třípásmové soustavy o objemu 37 dm³

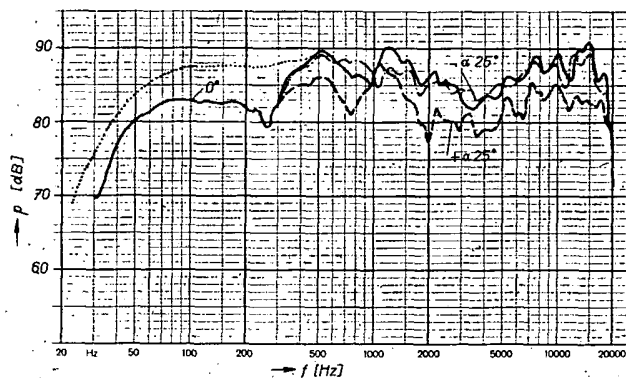
Obr. 108. Průběh svorkového napětí výhybky třípásmové soustavy o objemu 37 dm³

$N = 101$, drát CuL o průměru $d = 0,6$ mm. Odpor vinutí $R = 0,36$ Ω. Kondenzátory $C_2 = 16$ µF, $C_3 = 3$ µF a $C_5 = 5$ µF jsou typu TC 651 až 669.

Výhybka pro vysokotónový reproduktor

Dělicí kmitočet je $f_{d2} = 3310$ Hz, kondenzátor $C_4 = 3$ µF, MP, TC 180/160 V (2 µF + 1 µF), tlumivka $L_4 = 0,77$ mH na feritovém hrníčkovém jádru o Ø 18 × 11 o konstantě $A_L = 160$, počet závitů $N = 69$, drát CuL o průměru $d = 0,4$ mm. Odpor vinutí $R = 0,32$ Ω.

Obr. 109. Kmitočtová charakteristika třípásmové soustavy o objemu 37 dm³. Měření v blízkém poli $l = 0,2$ m



Obr. 110. Směrové vlastnosti třípásmové soustavy o objemu 37 dm³. Měřeno v ose 0° a od osy ±25°

Naměřené výsledky

Kmitočtový průběh vstupní impedance soustavy uvádíme na obr. 106. Kmitočtový průběh svorkových napětí reproduktorů v této soustavě je na obr. 108. Kmitočtová charakteristika hladiny akustického tlaku je patrná z obr. 109. Soustava byla v tomto případě měřena zblízka ve vzdálenosti $l = 0,2$ m. Měřicí osa byla mezi bassreflexovým rezonátorem a hlubokotónovou jednotkou. Kmitočtová charakteristika měřená ve vzdálenosti 1 m a příkonu 1 VA je na obr. 107. Směrové vlastnosti soustavy měřené v úhlech $\pm 25^\circ$ jsou uvedeny na obr. 110. Byly měřeny ve vzdálenosti 1 m a při příkonu 1 VA. Kmitočtové charakteristiky první, druhé a třetí harmonické soustavy, měřené při příkonu 1 VA a vzdálenosti 1 m, jsou na obr. 111. Na obr. 112 je naměřený průběh první, druhé a třetí harmonické při příkonu 2 VA a ve vzdálenosti 1 m.

Technické údaje

Jmenovitá impedance:	4 Ω (8 Ω).
Max. standardní příkon:	20 VA.
Špičkový hudební příkon:	40 VA.
Kmitočtový rozsah v tolerančním poli A podle ČSN:	40 až 18 000 Hz.
Charakteristická citlivost:	88 dB/VA/m.
Použité reproduktory:	ARN 5604, ARZ 4604, ARV 3604 (ARN 5608, ARZ 4608, ARV 3608), bassreflexová.
Druh ozvučnice:	2. řádu; 12 dB/okt.
Výhybka:	34 dm ³ .
Volný objem:	621 Hz a 3310 Hz.
Číslo kmitočtů:	580 × 350 × 240 mm.
Rozměry (v × š × h):	

7. Stereofonní sluchátka

7.1 Úvod

Sluchátka byla do nedávné doby opomíjenou součástí reprodukčního řetězce. Teprve s rozvojem stereofonie se začala sluchátka prosazovat a urychleně vyvíjet. V posledních letech nabízí mnoho světových výrobců velmi kvalitní stereofonní sluchátka, která se postupně stávají standardním doplňkem elektroakustických zařízení pro bytové použití. Speciální konstrukce sluchátek nahrazují reproduktor i u superminiaturních rozhlasových přijímačů nebo magnetofonových miniaturních přehrávačů. Sluchátko moderní konstrukce se postupně stalo z hlediska kvality reprodukce rovnocenným partnerem reproduktoru. Sluchátkový poslech má řadu nesporných předností, především:

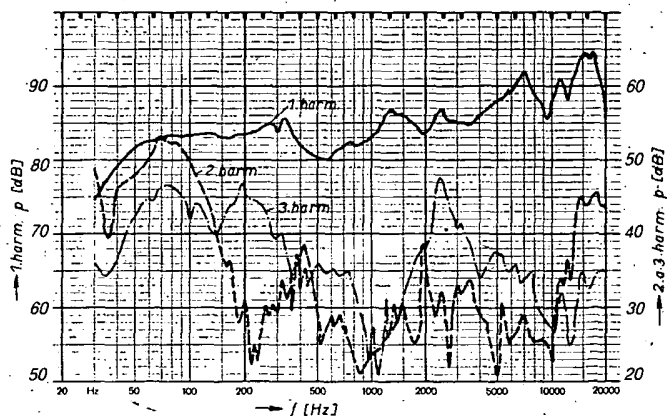
Obr. 112. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické třípásmové soustavy o objemu 37 dm³. Měřeno při příkonu 2 VA

- Ize s nimi dosáhnout značných akustických tlaků s minimálním příkonem,
 - Ize využít plného dynamického rozsahu (u malých akustických tlaků tlumení okolního hluku náušníky a u velkých akustických tlaků možnost reprodukce takové hladiny, aniž to ruší okolí),
 - vyrovnanou kmitočtovou charakteristikou,
 - možnost poslouchat několik programů v jedné poslechové místnosti, aniž by se posluchači navzájem rušili,
 - Ize volit svůj program nezávisle na ostatních spoluúčastnících místnosti.
- Nevýhody naproti tomu jsou:
- určité nepohodlí, které působí nasazení sluchátek,
 - omezení osobní volnosti přívodním kabelem signálu,
 - otáčení zvukového obrazu s pohyby hlavy.

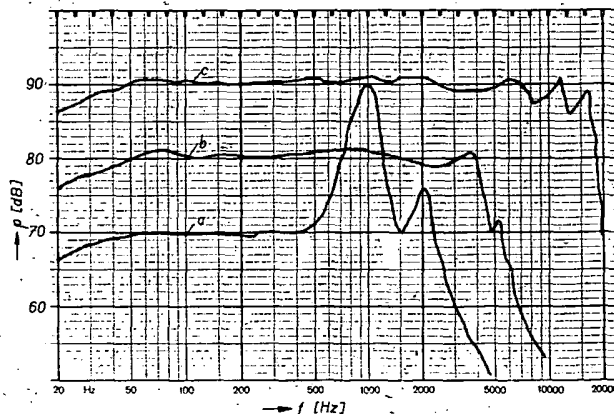
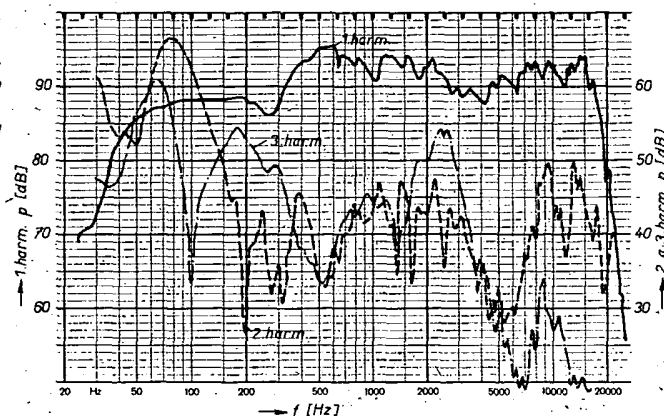
Z hlediska kmitočtové charakteristiky můžeme sluchátka rozdělit do tří hlavních skupin (obr. 114):

- sluchátka staršího provedení,
- sluchátka pro sdělovací účely,
- sluchátka určená pro kvalitní reprodukci.

Z hlediska kmitočtových průběhů na obr. 114 je na první pohled patrné, že sluchátka skupiny a) jsou vhodná pouze k přenosu řečového signálu, nikoli k přenosu hudebních snímků. Používají se v telefonii, v níž svým kmitočtovým průběhem plní i funkci akustického filtru, odřezávajícího (za účelem zlepšení srozumitelnosti) nežádoucí kmitočtové oblasti. Sluchátka skupiny b) vyhovují požadavku pro přenos řečového signálu, pro přenos hudebních signálů mají velký útlum signálů vysokých kmitočtů. Sluchátka poslední skupiny splňují svým kmitočtovým



Obr. 111. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické třípásmové soustavy o objemu 37 dm³. Měřeno při příkonu 1 VA

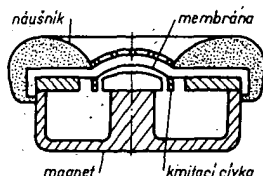


Obr. 114. Kmitočtové charakteristiky a) sluchátek staršího provedení, b) sluchátek pro sdělovací účely, c) sluchátek pro kvalitní reprodukci

rozsahem požadavky na reprodukční zařízení schopné přenášet v potřebné kvalitě hudební signály. Svými vlastnostmi odpovídají kvalitním reproduktorovým soustavám.

Sluchátka mohou pracovat s elektroakustickým měničem na elektromagnetickém, elektrodynamickém, piezoelektrickém nebo elektrostatickém principu. Zatímco vývoj reproduktorů se ustálil v převážně většině na elektrodynamickém principu, u sluchátek pro telefonii se zatím používá měnič elektromagnetický, u jakostních sluchátek bývá měnič elektrodynamický, orthodynamický, piezoelektrický a elektroakustický.

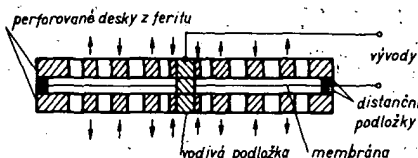
U *elektrodynamického měniče* určeného pro sluchátka (obr. 115) byly v značné míře použity zkušenosti z konstrukce elektrodynamického mikrofonu. Hlavní



Obr. 115. Elektrodynamické sluchátko

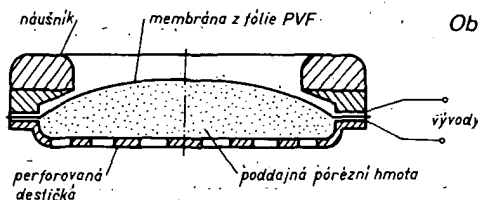
součástí měniče je trvalý magnet a membrána s kmitací cívkou. Membrána v části, kde je přilepena kmitací cívka, má tvar kulového vrchlíku, je vyztužena, takže kmitá pistově. Zbylá část membrány (od vrchlíku k okrajům) má prolisované vlnky nebo zeslabený materiál, aby se zvětšila její poddajnost. Při průchodu signálového proudu kmitací cívkou, která je zapuštěna ve vzduchové mezeře magnetu, vznikne síla, která v axiálním směru pohybuje membránou. Soustava je doplněna řadou dutin, které ovlivňují kmitočtový průběh sluchátka. Kmitočtová charakteristika je u sluchátka s elektrodynamickým měničem velmi dobrá a v mnoha případech se pohybuje od 20 Hz do 20 kHz v pásmu ± 5 dB. Někteří výrobci dávají do sluchátek místo speciálně vyvinutých elektrodynamických měničů též miniaturní dynamické reproduktory nebo mikrofonní vložky.

Velmi kvalitní sluchátka využívají *orthodynamický měnič*, jehož uspořádání je patrné z obr. 116. Měnič pracuje v podstatě na stejném principu jako dynamický



Obr. 116. Orthodynamické sluchátko

systém. Nové je spojení kmitací cívky s membránou. Kmitací cívka je oboustranně nalisována na asi 10 až 12 μ m tlustou polyesterovou fólii (tvořící membránu měniče), která kmitá mezi dvěma perforovanými deskami z feritového materiálu. Cívka má tvar Archimedovy spirály a skládá se z několika sekcí, z nichž sousední mají vždy opačný smysl. Feritové desky jsou magnetovány ve směru osy symetrie tak, že polarita sousedních částí je opačná. Desky jsou umístěny ve vzdálenosti asi 0,4 až 0,8 mm od sebe a orientovány tak, aby směr magnetizace byl navzájem opačný. Protéká-li vinutím cívky

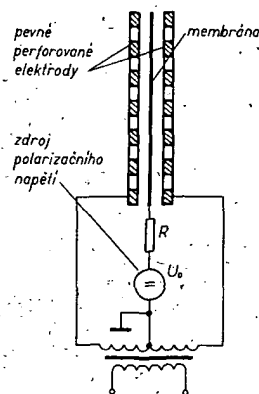


Obr. 117. Piezoelektrické sluchátko

signálový proud, působí na vodiče síla rovnoměrně rozložená po celé ploše membrány. Kmitočtová charakteristika sluchátek s orthodynamickým měničem je velmi vyrovnaná a pohybuje se v pásmu ± 2 dB od 20 Hz do 20 kHz. Jako nevýhodu těchto sluchátek lze označit poměrně malou citlivost, což při výkonech dnešních stereofonních zesilovačů nemusí činit obtíže.

Mezi další používané elektroakustické měniče řadíme měnič pracující na *piezoelektrickém principu*. Konstrukční uspořádání piezoelektrického měniče je na obr. 117. Fólie z mechanicky a elektricky orientovaného polyvinylidenfluoridu (PVF) o tloušťce 10 až 15 μ m, opatřená na obou stranách vodivou vrstvou, je napjata přes podložku z poddajného porézního materiálu, která je uložena na tuhé perforované desce. Signálové střídavé napětí, přiváděné na vývody spojené s vodivými vrstvami na povrchu fólie, způsobuje mechanické napětí na fólii, která se zkracuje a prodlužuje v rytmu přiváděného signálu. Fólie z PVF funguje zároveň jako membrána, která vyzařuje akustický signál. Sluchátko s piezoelektrickým měničem má sice vyrovnaný kmitočtový průběh u nízkých a středních kmitočtů, ale signály kmitočtů kolem 8 až 10 kHz se přenášejí již s úbytkem 10 až 15 dB/okt.

V omezené míře se ve sluchátkách uplatňují i *elektrostatické měniče* (obr. 118). S ohledem na potřebu dostatečné



Obr. 118. Elektrostatické sluchátko

amplitudy v oblasti nízkých kmitočtů je nutné použít symetrický elektroakustický měnič s konstantním nábojem na membráně. Membrána je umístěna mezi dvěma vodivými, dostatečně tuhými perforovanými elektrodami. Elektrostatická sluchátka musí být vybavena zdrojem polarizačního napětí a transformátorem, převádějícím výstupní napětí zesilovače na napětí 20 až 150 V. U tohoto typu sluchátek lze dosáhnout velmi vyrovnaného kmitočtového průběhu.

Výsledná funkce sluchátek je značně závislá na „impedanci“ lidského ucha, která je u jednotlivců rozdílná. Tím se do jisté míry komplikuje i měření sluchátek. Z tohoto důvodu bylo pro sluchátka vyvinuto měřicí zařízení, tzv. umělé ucho, které má akustickou impedanci přibližující se průměrnému lidskému uchu. Pro nejednotnost norem vzniká mnoho nespolečných údajů. To vedlo Mezinárodní

elektrotechnickou komici (IEC) k návrhu umělého ucha, které sice nenapodobuje plně lidské ucho, ale pro svoji technickou jednoduchost je přístupnější většině výrobců a výzkumným pracovníkům. Toto umělé ucho podle doporučení IEC vyrábí například pod označením B & K 4153 dánská firma BRUEL & KJAER. Měření sluchátek pomocí umělého ucha zahrnuje mezi objektivní měřicí metody, při měření je náušník sluchátka přiložen na ústí otvoru umělého ucha. Měří se akustický tlak na membráně měřicího mikrofonu o průměru 1/2", vestavěných v umělém uchu. Na vstup sluchátka přivádíme z generátoru sinusový signál odpovídající jmenovitému napětí sluchátka. Měřeními zjistíme jednak kmitočtový průběh sluchátek, jednak můžeme v pásmu 100 až 5000 Hz stanovit charakteristickou citlivost.

Pro měření sluchátek se používá (hlavně v zahraničí) též subjektivní měřicí metoda. Měří se v bezdovukové komoře při hladinách akustického tlaku 70 až 80 dB v místě posluchače. Posluchač, který je subjektem měření, je umístěn v akustickém poli čelem k reproduktorové soustavě ve vzdálenosti minimálně 1,5 až 2 m. Jako měřicí signál používáme buď sinusový signál anebo signál odpovídající 1/3 oktávy bílého šumu. Při měření postupujeme tak, že měřicí osoba si nejprve poslechne referenční signál, který vyzařuje reproduktorová soustava. Po jeho vypnutí a po nasazení sluchátek nastaví ovládacím prvkem na jejich vstupních svorkách takové napětí, aby subjektivní vjem hlasitosti byl stejný. Velikost tohoto napětí se přečte na měřicím přístroji. Do rastru zakreslíme reciproky průběh takto stanovených napětí, vyjádřených v dB. Vzhledem k velkým individuálním rozdílům dílčích měření je nutné mít k měření k dispozici soubor alespoň 10 posluchačů a z výsledků měření stanovit průměrné hodnoty.

Pro lepší přehlednost a větší informovanost o stereofonních sluchátkách uvedeme u několika typů, tuzemských i zahraničních, základní elektroakustická měření a hodnocení technických parametrů.

7.2. Tuzemská stereofonní sluchátka Stereofonní sluchátka ARF 300 TESLA

Sluchátka ARF 300, jejichž výrobcem je k. p. TESLA Valašské Meziříčí, jsou sluchátka s náušníkem o velkém objemu s cívkovým elektrodynamickým měničem.

Jsou určena pro velmi kvalitní stereofonní reprodukci jako doplněk k magnetofonům, rozhlasovým přijímačům apod. Celkový vzhled a provedení sluchátek je patrný z obr. 119.

Výrobce udávané parametry

Jmenovitá impedance:	2 x 200 Ω
Charakteristická citlivost:	95 dB/1 mW/1 sluchátko
Kmitočtový rozsah:	20 Hz až 20 kHz
Max. příkon:	10 mW/1 sluchátko
Mezní akustický tlak:	125 dB

Naměřené výsledky

Kmitočtová charakteristika levého sluchátka je uvedena na obr. 120.



Obr. 119. Stereofonní sluchátka typ ARF 300 - TESLA

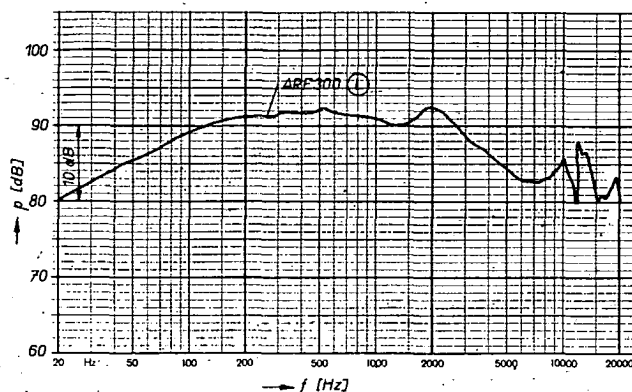
7.3 Zahraniční stereofonní sluchátka

Stereofonní sluchátka MG-10

Sluchátka MG-10 jsou lehká stereofonní otevřená sluchátka s cívkovým elektrodynamickým měničem. Jejich výrobcem je japonská firma SANYO. Konstruktivním řešením odpovídají světovému standardu lehkých otevřených sluchátek. Vzhled, konstrukční uspořádání a technické parametry můžeme srovnat s tuzemským typem ARF 220. Sluchátka MG-10 jsou určena především pro přenosné kazetové stereofonní přehrávače.

Naměřené výsledky

Vstupní impedance sluchátek je 32 Ω . Kmitočtové charakteristiky obou systémů sluchátek MG-10 jsou na obr. 124. Kmitočtové charakteristiky 1. 2. a 3. harmonické pro levý systém sluchátka jsou na obr. 125, byly měřeny při příkonu $P = 1$ mW. Z uvedených charakteristik 1. 2. a 3. harmonické můžeme stanovit činitele harmonického zkreslení v procentech. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 12. Charakteristická citlivost levého sluchátka je 98 dB a pravého 97,7 dB. Hmotnost sluchátek je 30 g bez konektoru a přívodního kabelu. Celková hmotnost činí 40 g.



Obr. 120. Kmitočtová charakteristika levého sluchátka ARF 300

Stereofonní sluchátka ARF 220 - TESLA

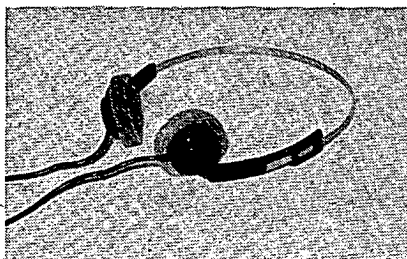
Sluchátka ARF 220 z k. p. TESLA Valašské Meziříčí jsou lehká stereofonní sluchátka s otevřeným prodyšným náušníkem a cívkovým elektrodynamickým měničem. Jsou určeny zejména k přenosnému kazetovému přehrávači KM 340, ale vzhledem ke svým velmi dobrým parametřům mohou být použity jako doplněk domácího elektroakustického řetězce. Konstruktivním řešením odpovídají dnes všeobecně ustálené koncepci lehkého otevřeného typu sluchátek. Jejich vzhled a provedení je názorně vidět z obr. 121.

Naměřené výsledky

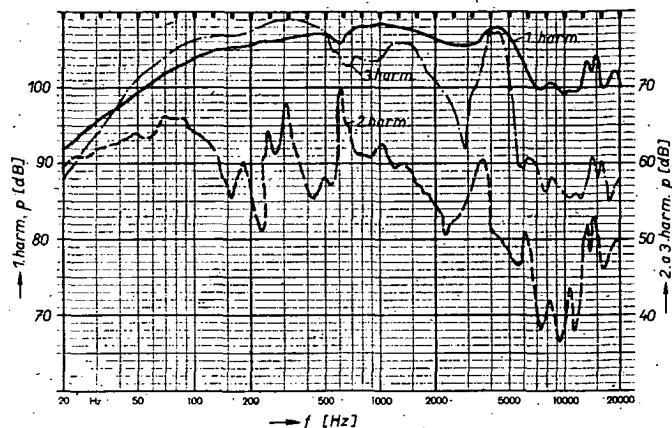
Vstupní impedance sluchátek je 30 Ω . Kmitočtové charakteristiky první, druhé a třetí harmonické jsou interpretovány na obr. 122 a 123 pro levé a pravé sluchátko. Z naměřených průběhů dílčích harmonických můžeme stanovit činitel harmonického zkreslení. Výsledky uvádíme přehledně v tabulce 11. Sluchátka byla měřena při příkonu $P = 1$ mW.

Tab. 11. Činitel harmonického zkreslení sluchátek ARF 220

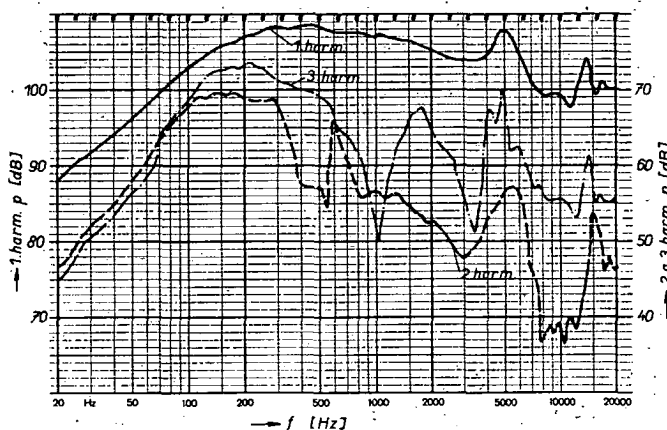
Kmitočtové pásmo	L k [%]	P k [%]
45 až 125 Hz	0,94	2,38
125 až 250 Hz	2,36	5,00
250 až 5000 Hz	0,85	2,84



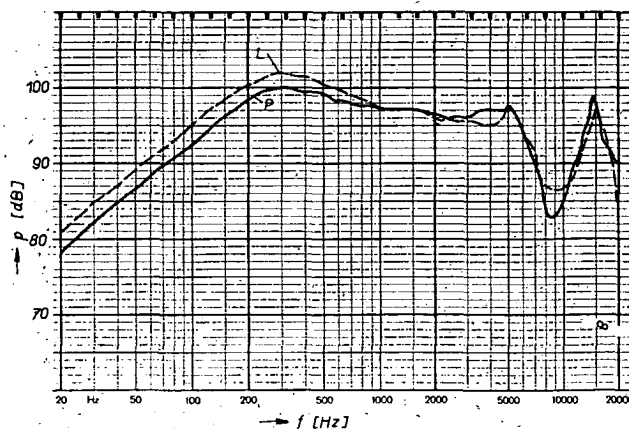
Obr. 121. Stereofonní sluchátka typ ARF 220 - TESLA



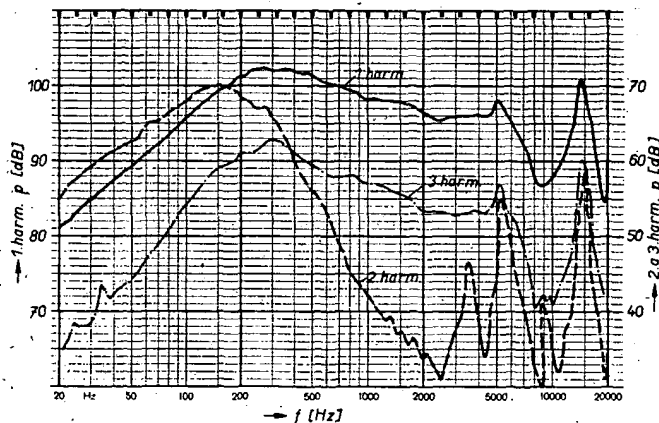
Obr. 122. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ ARF 220 - TESLA, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měřen levý systém při příkonu $P = 1$ mW ($U = 182$ mV)



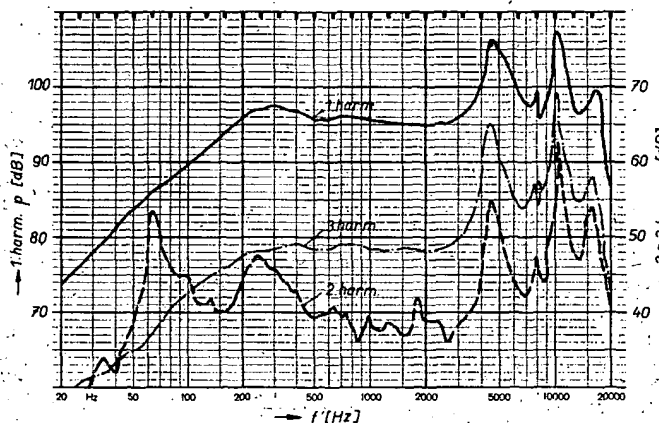
Obr. 123. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ ARF 220 - TESLA, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měřen pravý systém při příkonu $P = 1$ mW ($U = 182$ mV)



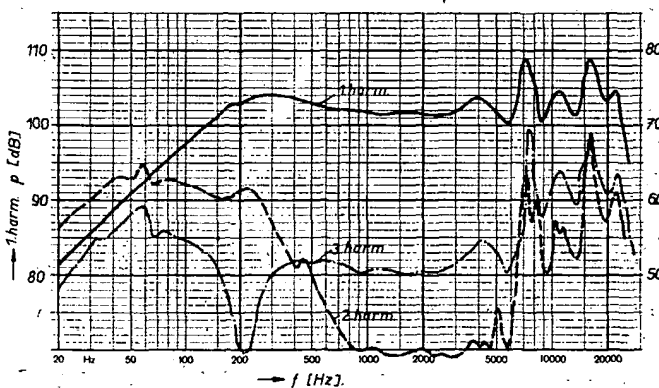
Obr. 124. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ MG-10 SANYO. Měřeny oba systémy při příkonu $P = 1$ mW ($U = 173$ mV)



Obr. 125. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ MG-10 SANYO, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měřen levý systém při příkonu $P = 1 \text{ mVA}$ ($U = 173 \text{ mV}$)



Obr. 127. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ MDR-03 SONY, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měřen levý systém při příkonu $P = 1 \text{ mVA}$ ($U = 179 \text{ mV}$)



Obr. 129. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ MDR-15 SONY, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měřen levý systém při příkonu $P = 1 \text{ mVA}$ ($U = 152 \text{ mV}$)

Stereofonní sluchátka MDR-03

Sluchátka MDR-03 jsou lehká stereofonní otevřená sluchátka s cívkovým elektrodynamickým měničem. Vyrábí je japonská firma SONY. Provedením odpovídají ustálené koncepci a vzhledem jsou srovnatelné s tuzemským typem ARF 220. Jsou opět určena pro připojení ke stereofonnímu kazetovému přehrávači.

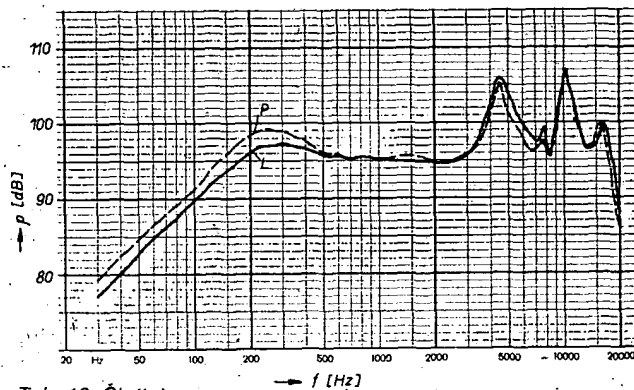
Naměřené výsledky

Vstupní impedance byla naměřena

32 Ω . Kmitočtové charakteristiky obou systémů (L a P) jsou na obr. 126. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické, nesoucí informaci o zesílení sluchátek, jsou pro levé sluchátko uvedeny na obr. 127, byly změřeny při příkonu $P = 1 \text{ mW}$.

Stereofonní sluchátka MDR-15

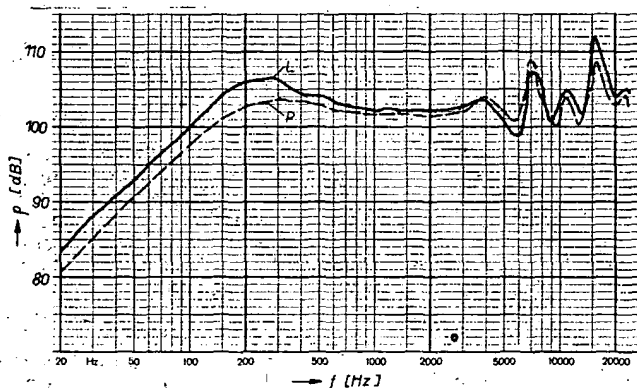
Sluchátka MDR-15 jsou lehká stereofonní otevřená sluchátka s elektrodynamickým měničem. Výrobce těchto sluchátek je japonská firma SONY. Konstrukčně jsou obdobou předchozího typu MDR-03, ale v lepším provedení. Jsou opět určeny k reprodukci zvuku ze stereofonního kazetového přehrávače. Vzhle-



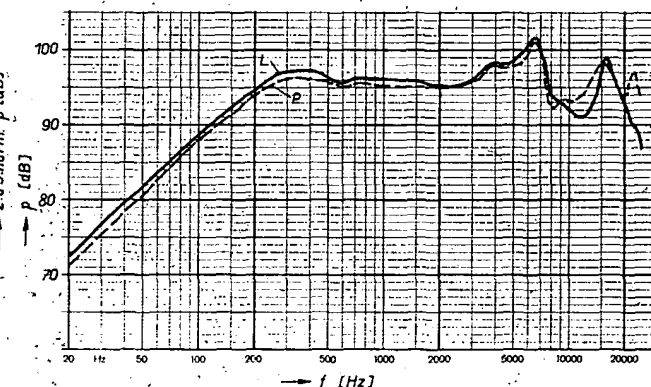
Tab. 12. Činitel harmonického zkreslení sluchátek MG-10

Kmitočtové pásmo	L k [%]
45 až 125 Hz	2,58
125 až 250 Hz	3,25
250 až 5000 Hz	1,03

Obr. 126. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ MDR-03 SONY. Měřeny oba systémy při příkonu $P = 1 \text{ mVA}$ ($U = 179 \text{ mV}$).



Obr. 128. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ MDR-15 SONY. Měřeny oba systémy při příkonu $P = 1 \text{ mVA}$ ($U = 152 \text{ mV}$)



Obr. 130. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ 3L2 SONY. Měřeny oba systémy při příkonu $P = 1 \text{ mVA}$ ($U = 184 \text{ mV}$)

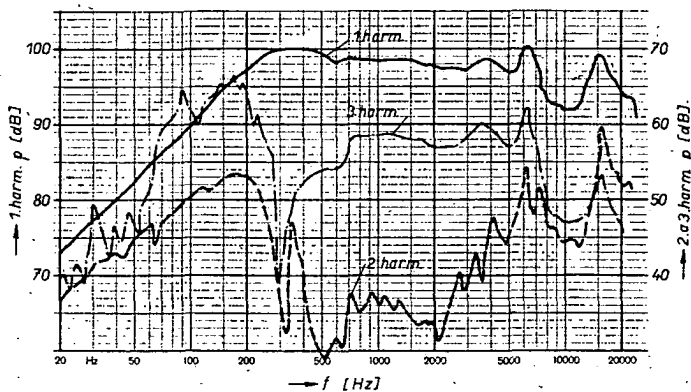
dem k velmi dobrým elektroakustickým vlastnostem je lze použít i ke stolnímu kazetovému či cívkovému magnetofonu nebo rozhlasovému přijímači.

Naměřené výsledky

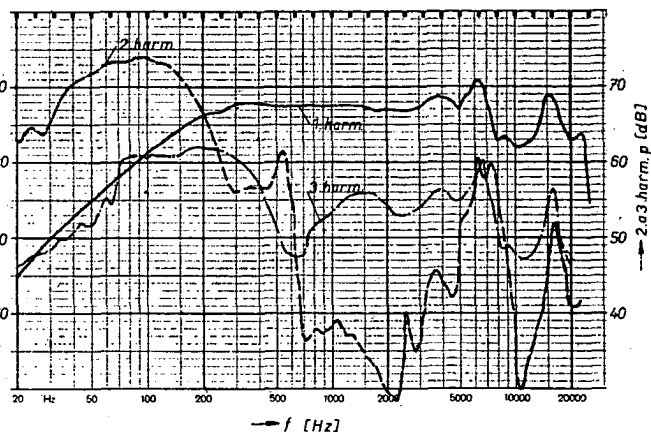
Kmitočtové charakteristiky levého i pravého sluchátka jsou na obr. 128. Kmitočtové průběhy první, druhé a třetí harmonické, nesoucí informaci o zesílení sluchátek, jsou pro levé sluchátko na obr. 129, byly změřeny při příkonu 1 mW.

Stereofonní sluchátka 3L2

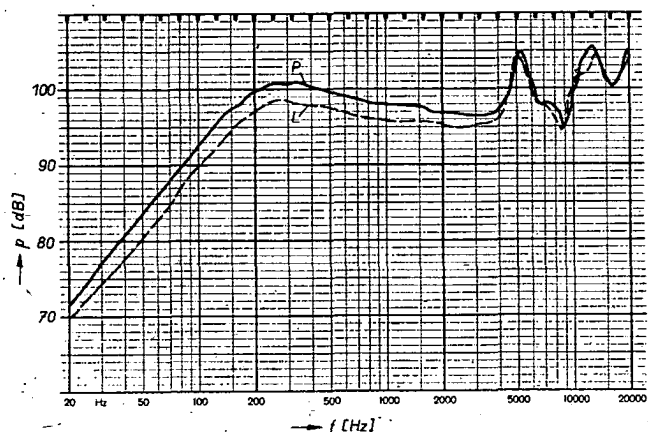
Sluchátka 3L2 jsou dalším typem lehkých otevřených sluchátek japonské fir-



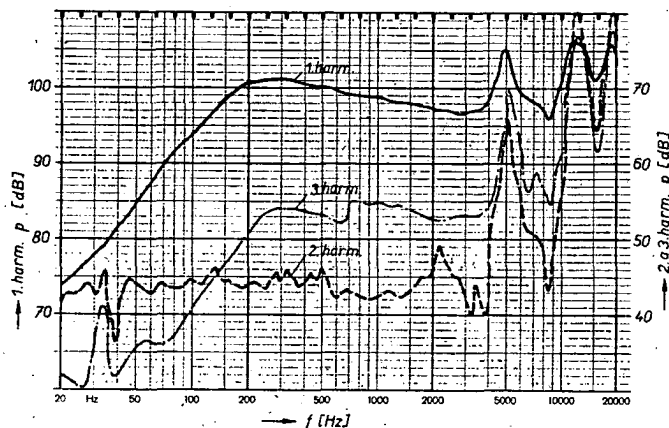
Obr. 131: Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ 3L2 SONY, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měření levý systém při příkonu $P = 1 \text{ mVA}$ ($U = 184 \text{ mV}$)



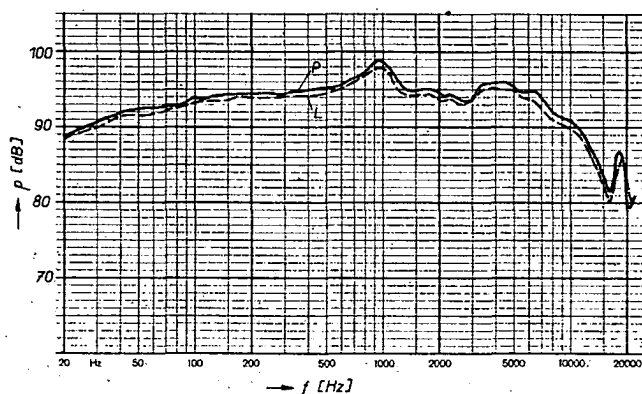
Obr. 132: Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ 3L2 SONY, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měření pravý systém při příkonu $P = 1 \text{ mVA}$ ($U = 184 \text{ mV}$)



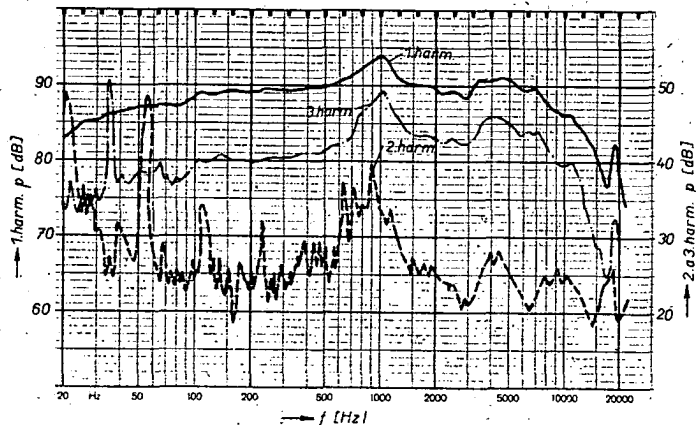
Obr. 133: Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ AS-20 ASAHI. Měření oba systémy při příkonu $P = 1 \text{ mVA}$ ($U = 173 \text{ mV}$)



Obr. 134: Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ AS-20 ASAHI, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měření pravý systém při příkonu $P = 1 \text{ mVA}$ ($U = 173 \text{ mV}$)



Obr. 135: Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ SE-700 PIONEER. Měření oba systémy při $U = 1,13 \text{ V}$



Obr. 136: Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ SE-700 PIONEER, 1. 2. a 3. harmonická složka. Měření levý systém při příkonu $U = 1,13 \text{ V}$

my SONY. Systémy sluchátek pracují na elektrodynamickém principu. Konstrukční řešení i vzhled jsou podobné předchozímu typu. Sluchátka jsou opět určena k reprodukci zvuku pro stereofonní kazetové přehrávače.

Naměřené výsledky

Vstupní impedance byla u obou sluchátek naměřena 34Ω . Kmitočtové charakteristiky levého a pravého sluchátka jsou na obr. 130: Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické levého sluchátka, dávající informaci o jeho zkruslení, jsou na obr. 131. Průběhy harmonických pravého sluchátka jsou na obr. 132; všechny údaje byly získány při příkonu $P = 1 \text{ mVA}$. Hmotnost sluchátek bez konektoru a při-

vodního kabelu je 40 g , s příslušenstvím 63 g .

Stereofonní sluchátka AS-20

Sluchátka AS-20 jsou stejně jako předchozí typy lehkými otevřenými sluchátky s cívkovým elektrodynamickým měničem. Náušníky jsou vyrobeny z prodyšného materiálu. Sluchátka AS-20 jsou zařazena ve výrobním programu japonské firmy ASAHI. Vzhled i konstrukční řešení odpovídají ustálené koncepci tohoto druhu sluchátek. Výrobce uvádí následující pa-

rametry:
Impedance: 30Ω ,
Citlivost: 92 dB/mW ,

Kmitočtový rozsah: 20 Hz až 20 kHz ,
Max. výkon: 100 mW .

Naměřené výsledky

Vstupní impedance obou sluchátek byla naměřena 30Ω . Kmitočtové charakteristiky levého a pravého sluchátka jsou na obr. 133. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické, nesoucí informaci o zkruslení, jsou na obr. 134, z naměřených průběhů je patrné, že jde o sluchátka s velmi malým zkruslením.

Stereofonní sluchátka SE700

Sluchátka SE700 jsou velká sluchátka s uzavřeným náušníkem využívající piezoelektrický měnič. Výrobem těchto sluchátek je japonská firma PIONEER. Průměr sluchátka je 94 mm, hmotnost bez konektoru a přívodního kabelu je 292 g, s konektorem a kabelem 340 g.

Naměřené výsledky

Kmitočtové charakteristiky sluchátek SE700 jsou pro oba systémy na obr. 135. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické levého sluchátka jsou na obr. 136, byly měřeny při vstupním napětí $U = 1,13$ V, což odpovídá hladině akustického tlaku 90 dB. Z naměřených průběhů vidíme názorně, že při použití piezoelektrického měniče nastává úbytek signálů vysokých kmitočtů, tak jak na to bylo upozorněno v článku 7.1 v popisu principu výše uvedeného měniče.

Stereofonní sluchátka HOK-80

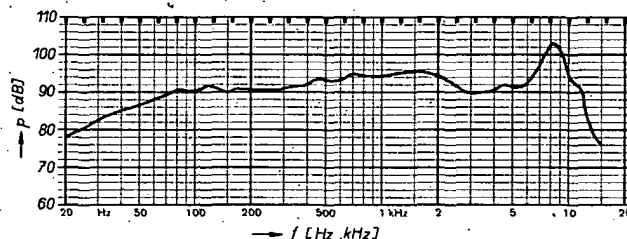
Sluchátka HOK-80 jsou stereofonní sluchátka střední velikosti s uzavřeným náušníkem. Je u nich použit orthodynamický elektroakustický měnič. Výrobem sluchátek je východoněmecký podnik VEB KERAMISCHE WERKE HERMSDORF. Výrobce uvádí tyto parametry:

Kmitočtový rozsah: 20 Hz až 20 kHz,
Jmenovitá impedance: 60 Ω ,
Příkon: 5 mW/94 dB,
Max. příkon: 2 W,
Zkreslení: 0,5 %,
Přítláčná síla: 4 N,
Hmotnost včetně kabelu a konektoru: 0,3 kg.

Naměřené výsledky

Kmitočtová charakteristika levého systému stereofonního sluchátka HOK-80 je na obr. 137.

Obr. 137. Kmitočtová charakteristika sluchátek typ HOK-80 – NDR. Měření levý systém při příkonu $P = 1$ mVA



8. Akustická měření

V této kapitole uvedeme princip a způsob měření reproduktorů a reproduktorových soustav. Tato měření jsou podrobně popsána v čs. normách, ale pro přehlednost seznámíme čtenáře s nejpodstatnějšími základními principy a zjednodušenými popisy měření.

Akustická měření a hodnocení reproduktorových soustav můžeme rozdělit na dva základní druhy měření:

- objektivní,
- subjektivní.

Objektivně se reproduktorové soustavy měří ve speciálních měřicích prostorách, tzv. akustických neboli bezodrazových komorách. Můžeme též měřit ve volném prostoru nebo v poloprostoru.

Subjektivně se reproduktorové soustavy měří a hodnotí nejčastěji v uzavřeném prostoru, v tzv. poslechové místnosti.

8.1 Základní objektivní měření

Elektrická impedance

Průběh elektrické impedance soustavy se měří na jejich vstupních svorkách konstantním proudem, odpovídajícím 1/10 maximálního (jmenovitého) standardního příkonu, plynule v celém kmitočtovém pásmu, pro které je soustava určena. Jmenovitá impedance reproduktorové soustavy bývá většinou 4 nebo 8 Ω a stanovíme ji jako nejmenší hodnotu modulu elektrické impedance. Její reálnou složku lze měřit na vhodném můstku.

Kmitočtová charakteristika

Kmitočtové charakteristiky se měří např. v bezodrazové komoře. Při měření je třeba zvolit úroveň měřicího signálu tak, aby nevznikalo nadměrné nelineární zkreslení. Základní úroveň se uvažuje při příkonu soustavy 1 VA a vzdálenosti měřicího mikrofonu 1 m od zářiče.

Kmitočtové charakteristiky se měří u reproduktorů a reproduktorových soustav sinusovým tónem nebo šumovým signálem.

Při úplném hodnocení kmitočtové charakteristiky soustavy se dělá i tzv. měření doplňkové, kdy kmitočtovou charakteristiku měříme pod různými úhly ke vztážené ose. Doporučuje se, aby tyto úhly byly odstupňovány takto: 15°, 20°, 25°, 30°, 45°, 60° a 90°.

Referenční bod pro soustavy určuje především výrobce. Většinou je stanoven ve vyzářovací ose před vysokotónovým reproduktorem.

Průběhy kmitočtové charakteristiky se plynule zaznamenávají na zařízení – zapisovači úrovně (např. typ 2305 nebo 2307 firmy B & K). Průběhy se zaznamenávají na speciální semilogaritmický papír šířky 50 nebo 100 mm. Kmitočtová charakteristika soustav je jedním ze základních para-

metrů, který dává obraz o jejich vlastnostech.

Směrové charakteristiky

Měří se buď ve volném prostoru nebo v akustické komoře a použije se napájení stejným signálem, jako při měření kmitočtové charakteristiky. Soustavy se měří v horizontální i vertikální rovině. Vzdálenost měřicího mikrofonu od referenčního bodu soustavy se volí stejná jako při měření kmitočtové charakteristiky.

Měřit směrové charakteristiky se doporučuje při kmitočtech 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz, 12 500 Hz a 16 000 Hz.

Při měření se plynule otáčí reproduktorová soustava ve stejné vzdálenosti od referenčního bodu a v rovině proložené akustickou osou reproduktorové soustavy. Měřenou hladinu signálu registrujeme pomocí zapisovače úrovně, umožňující záznam v polárních souřadnicích (např. typ 2305 nebo 2307) dánské firmy Bruel & Kjaer).

Stanovení charakteristické citlivosti

Charakteristická citlivost je důležitý parametr soustavy pro její zapojení do reprodukčního řetězce. Citlivost se stanoví v rozsahu 250 Hz až 4000 Hz z kmitočtové charakteristiky soustavy. Z průběhu se určí průměrná hodnota v uvedeném pásmu. O charakteristické citlivosti jsme se již zmínili v úvodní kapitole, kterou je nezbytné znát pro návrh vícepásmových soustav.

Měření zkreslení

Činitel charakteristického harmonického zkreslení se měří obdobně jako kmitočtové charakteristiky při 1/10 max. příkonu soustavy. Dále se měří i při polovičním, dokonce i při maximálním příkonu. Při větších příkonech měříme pomocí výkonového zesilovače a filtru, který je blíže specifikován v ČSN 36 8265, čl. 84. Filtr má kmitočtovou závislost odpovídající průměrnému spektrálnímu rozložení energie přirozených akustických signálů. Harmonické zkreslení se měří v akustické ose soustavy a dále také v úhlech 15 a 30° od osy. Zkreslení je možné měřit např. analyzátozem typ 2010 a řídicí jednotkou k měření zkreslení typ 1902 fy Bruel & Kjaer, umožňující plynulý záznam základní složky a dále pak druhé až páté harmonické v závislosti na kmitočtu. Průběhy akustického tlaku základní harmonické a dalších harmonických složek se registrují pomocí zapisovače úrovně, např. typu 2307 B & K.

Výsledky měření se zpracují tak, že se nejprve určí tzv. vztáhná velikost akustického tlaku první základní harmonické v pásmu 250 až 4000 Hz. Tímto způsobem se zjistí střední hodnoty akustického tlaku pro každou jednotlivou harmonickou a to v pásmech kmitočtů:

- 45 až 125 Hz,
- 125 až 250 Hz,
- 250 až 5000 Hz.

Pro tato pásma kmitočtů se stanoví střední činitel harmonického zkreslení k_s podle vztahu

$$k_s = \frac{\sqrt{p_{2s}^2 + p_{3s}^2 + p_{4s}^2 + p_{5s}^2}}{p_{1s}}$$

kde p_{1s} až p_{5s} je akustický tlak harmonických složek.

Akustický výkon

Akustický výkon soustav při určitém standardním příkonu se obecně, pro určitý kmitočet nebo kmitočtové pásmo (je-li soustava napájena šumovým signálem) na základě zjištěného p_s^2 stanoví podle vztahu

$$P_{ak} = \frac{2\pi f^2}{c_0 \rho} p_s^2 [W; m, N/m^2],$$

kde P_{ak} je akustický výkon,
 p_s – průměrná velikost akustického tlaku v pásmu vymezeném kmitočty f_{min} a f_{max} ,
 c_0 – rychlost zvuku ve vzduchu, $c_0 = 344$ m/s,
 ρ – hustota vzduchu = 1,2 kg/m³,
 l – vzdálenost mikrofonu od referenčního bodu.

Doporučuje se měřit při 1/10 maximálního standardního příkonu.

Přetížitelnost

Aby reproduktory v soustavě nebyly přetíženy nebo zničeny, je nutné znát jejich přetížitelnost. Soustava musí po dobu 2 minut snést krátkodobé přetížení, rovnající se 1,5násobku maximálního (jmenovitého) standardního příkonu a po dobu 3 sekund přetížení rovnající se trojnásobku maximálního (jmenovitého) standardního příkonu.

násobku maximálního standardního příkonu.

Zde je třeba podotknout, že mnoho reproduktorových soustav, zvláště zahraničních typů, má v technickém popisu udán max. standardní příkon nebo špičkový příkon, nikoli příkon jmenovitý. Mnoho majitelů takových reproduktorových soustav si myslí, že může napájet soustavu trvalým signálem uvedené velikosti a navíc v celém kmitočtovém pásmu při udaném příkonu. Pak jsou nemile překvapeni, když se zničí především vysokotónový reproduktor.

8.2 Subjektivní hodnocení

Zkouška pazvuků

Pazvuky se vyhodnocují poslechovými testy, které se dělají buď ke stanovení maximální přípustné úrovně pazvuků pro daný konkrétní případ, nebo ve sporných případech. Soustavy se testují v poslechové místnosti o objemu 50 až 100 m³, která má být akusticky upravena tak, aby její střední doba dozvuku v pásmu akustických kmitočtů byla menší než 0,5 s. Přitom je nutno dbát na to, aby v místnosti nebyly žádné předměty, u nichž by mohly vzniknout slyšitelné rušivé rezonance. Při poslechových testech jsou reproduktorové soustavy napájeny signálem typu „hudba-řeč“ takové úrovně, aby bylo dosaženo právě maximálního standardního příkonu soustavy. Pro test je nutno použít elektrický signál vysoké kvality. Vzorky zkušebního signálu se volí tak, aby obsahovaly ve stejném rozsahu snímky orchestrální symfonické hudby, snímky s převládající úrovní sólového nástroje nebo zpěvu, snímky běžné komerční hudby a snímky řeči. Při testech se přehrávají postupně jednotlivé snímky vždy střídavě na první a druhé soustavě. Po přehrání každého snímku zapisí posluchači označení soustavy, kterou hodnotí jako lepší, nebo označí hodnocení jako nerozhodné. K hodnocení se doporučuje vybrat posluchače s dobrou poslechovou zkušeností.

Poslechové porovnávací testy

a) Těmito testy je možné porovnávat kvalitu reprodukce dvou nebo i několika soustav, pokud se porovnává každá z každou, nebo se použije metoda známkování. Vždy je třeba při hodnocení těchto testů mít na mysli, že jejich výsledky jsou závislé na složení skupiny testujících a volbě reprodukováného zvukového materiálu.

b) Poslechové testy se dělají zásadně ve standardním poslechovém prostoru. Testované soustavy je třeba provozovat za průzvučným, avšak neprůhledným závěsem.

Pro testy je nutno použít testovací signál vysoké kvality. Pokud není stanoveno speciální použití soustav (např. pouze pro řeč), volí se vzorky zkušebního signálu tak, aby obsahovaly ve stejném rozsahu snímky orchestrální symfonické hudby, snímky s převládající úrovní sólového nástroje nebo zpěvu, snímky běžné komerční taneční hudby a snímky řeči. Při testech se přehrávají postupně jednotlivé snímky, vždy střídavě na první a druhé soustavě. Po přehrání každého snímku označí posluchači tu soustavu, kterou hodnotí jako lepší, nebo označí hodnocení jako nerozhodné. K hodnocení se doporučuje vybrat posluchače s dobrou poslechovou zkušeností, nebo volit výběr posluchačů respektující určitý specifický okruh konzumentů.

Během testů se přehraje nejméně 8 vzorků signálu a reprodukci hodnotí nej-

méně pět posluchačů, je tedy k dispozici minimálně 40 posudků pro každou porovnávanou dvojici. Základní vyhodnocení se provede podle počtu jednotlivých posudků. Označíme např. výrok: reprodukce 1 je lepší než reprodukce 2 znakem „+“, opačný výrok znakem „-“ a nerozhodný výrok znakem „x“. Za jednoznačný výsledek testu se považuje posudek, jehož znak je v celkovém počtu výroků obsažen z více než 60 %. Nedosáhne-li žádný z možných výroků 60 % stejných znaků z celkového počtu, pokládá se výsledek testu za nerozhodný.

c) Poslechové testy lze rovněž dělat metodou známkování. Doporučuje se volit 5 známkových stupňů, a to takto:

- Známka 1 ... nejvyšší jakost,
- 2 ... velmi dobrá jakost,
- 3 ... průměrná jakost bez rušivých zkreslení,
- 4 ... nižší jakost s ještě únosnými rušivými zkresleními,
- 5 ... nejnižší jakost.

Tento test lze dělat buď bez vytčení mezní jakosti, tj. volně, nebo s vytčením tzv. mezních kvalit, tj. s určenými mezemi. Mezní kvality lze vytknout např. tak, že se zvolený snímek reprodukuje jednou a pak druhou soustavou tak, aby reprezentoval mezní případy, tj. případy přiřazené známce 1 a známce 5. Dále se reprodukuje zvolený snímek testovanou soustavou. Test se doporučuje opakovat pro každý snímek dvakrát, přičemž se volí různé pořadí ukázek mezních kvalit, např. 1; 5; x a 5; 1; x. Výsledek testu se pak vyjádří střední známkou, získanou součtem celkového počtu zapsaných známek, který se dělí počtem soudů. Při uvádění výsledné střední známky je vždy třeba uvést, zda se jednalo o volné známkování nebo o známkování s určenými mezemi a jakým způsobem byly meze zavedeny.

Poslechové testy je účelné používat vždy k doplnění údajů získaných objektivním měřením a dále především ve sporných případech, které nelze rozhodnout na základě výsledků objektivních měření. V žádném případě však nelze celkově hodnotit reproduktorové soustavy jen na základě poslechových testů.

9. Závěr

O stereofonní reprodukci signálu a o jednotlivých částech reprodukčního řetězce bylo uvedeno v odborné literatuře již mnoho, ale přesto existují ještě nové možnosti stereofonní reprodukce signálu. V současné době je na čs. trhu poměrně široký sortiment reproduktorových soustav běžného provedení. Kromě tradičního výrobců soustav pro bytové účely, k. p. TESLA Valašské Meziříčí, vyrábějí reproduktorové soustavy pro bytové účely v k. p. TESLA Litovel, k. p. TESLA Bratislava a v podniku ÚV Svazarmu Elektronika. Domníváme se však, že tento sortiment by mohl být např. doplněn o reproduktorové kombinace umožňující přenos nejnižších kmitočtů akustického pásma. Proto jsme navrhli několik alternativních řešení hlubokotónových jednotek a reproduktorových soustav malého objemu (satelitů).

Praktické provedení reproduktorových kombinací se společnou hlubokotónovou jednotkou bude jistě nejžádanější částí tohoto čísla AR řady B. Čtli jsme upozornit čtenáře na možnost reprodukce stereofonního signálu netradičním způsobem a předložit mu ucelený soubor stavebních návodů hlubokotónových jednotek a satelitních jednotek, včetně naměřených parametrů. Nové je především

to, že jsou slučovány signály levého a pravého kanálu zesilovače na nejnižších kmitočtech do jedné hlubokotónové jednotky (subwoofer), která se dvěma reproduktorovými soustavami malého objemu (satelity) tvoří kvalitní reproduktorovou kombinaci schopnou přenášet celé pásmo slyšitelných kmitočtů.

Stereofonní reprodukce signálu reproduktorovou kombinací se společnou hlubokotónovou jednotkou je nový vyzkoušený způsob doplnění, nebo lépe řečeno zlepšení kmitočtového rozsahu stávajících reproduktorových soustav. Konceptně představuje hlubokotónová jednotka elegantní řešení několika akustických problémů současně. Jednou z předností je menší celkový objem všech tří jednotek (subwoofer + 2 satelity) než dvou klasických reproduktorových soustav. Druhou předností je možnost snadnějšího umístění hlubokotónové jednotky do interiéru, neboť ji lze umístit teoreticky v poslechovém prostoru kamkoli. Může být součástí obývací stěny, nebo ji můžeme využít jako stolek pro televizní přijímač, podstavec pro květiny apod. Dvě reproduktorové soustavy malého objemu (satelity) lze umístit z hlediska dobrého stereofonního efektu mnohem výhodněji a hlavně nebudou zaujímat tak velký prostor jako klasické reproduktorové soustavy. Další z výhod hlubokotónových jednotek je rozšíření kmitočtové charakteristiky směrem k nejnižším kmitočtům a kvalitnější reprodukce signálu v této oblasti. Je sice pravda, že několik málo klasických reproduktorových soustav je schopné přenášet stejnou šířku pásma jako nové reprodukční zařízení, ale kromě několika výjimek postrádají potřebnou zatížitelnost. Je možné položit otázku, zda u většiny nahrávek existují kmitočty, pro které jsou hlubokotónové jednotky určeny. Lze říci, že s postupem doby, především s rozvojem digitálního zpracování zvuku (CD přehrávače) roste počet nahrávek, které nesou informace v oblasti pod 40 Hz a tento trend se výrazně zrychluje.

Navíc pomáhá hlubokotónová jednotka vyřešit i problém vyvážení nejnižších kmitočtů vzhledem ke zbytku kmitočtového pásma, které se od nahrávky k nahrávce značně liší. Kompenzace tónovou clonou nebo korekcí hloubek na stereofonním zesilovači není vždy vyhovující, protože jejich zdvih nastává většinou při jiném kmitočtu než potřebujeme. Pomocí aktivní hlubokotónové jednotky je možno zvýšit nebo snížit úroveň signálů nejnižších kmitočtů bez ovlivnění zbytku kmitočtového pásma.

V kapitole 4. jsme uvedli hlubokotónové jednotky různého provedení a objemu. Jednotky lze provozovat s běžným stereofonním zesilovačem nebo upraveným zesilovačem. Způsoby zapojení hlubokotónové jednotky a možnosti připojení ke stereofonnímu zesilovači byly přehledně uvedeny v kapitole 2. K hlubokotónovým jednotkám jsou navrženy reproduktorové soustavy (satelity) s objemy od 2,7 dm³ do 12 dm³, které jsou popsány v kapitole 5. Domníváme se, že v uvedených kapitolách čtenáři našli veškeré potřebné údaje ke zhotovení jak hlubokotónových jednotek, tak satelitních jednotek. U uváděných jednotek byla prováděna kromě objektivních měření v mnoha případech též subjektivní hodnocení. Většina čtenářů má svůj reprodukční řetězec zakončen dvěma reproduktorovými soustavami

menšího objemu, které může s výhodou použít jako satelitní jednotky a pro přenos nejnižších kmitočtů si může vybrat některou z uvedených hlubokotónových jednotek, včetně způsobu jejího připojení ke stereofonnímu zesilovači.

Této nové koncepci reprodukce stereofonního signálu se v zahraničí ujala řada firem, které doplnily jak západoevropský, tak americký trh o tento druh reprodukčního zařízení. Nabízejí kompletní reproduktorové kombinace se společnou hlubokotónovou jednotkou (subwoofer + 2 satelity), nebo jen samostatné hlubokotónové jednotky (subwoofer).

Abychom uspokojili ty čtenáře, kteří nebudou mít zatím k reproduktorovým kombinacím se společnou hlubokotónovou jednotkou důvěru, uvádíme v kapitole 6 veškeré potřebné podklady pro zhotovení klasické třípásmové soustavy s bass-reflexovým rezonátorem.

Jak je známo, reprodukci stereofonního signálu můžeme uskutečnit kromě reproduktorových soustav také sluchátky. V teoretickém úvodu kapitoly 7 jsme se zaměřili na popis funkce elektroakustických měničů, používaných v kvalitních stereofonních sluchátkách, a také na metodiku objektivních měření a subjektivních hodnocení sluchátek. Dále pak uvádíme některá tuzemská a zahraniční stereofonní sluchátka včetně naměřených nebo udávaných parametrů. Vzhledem k tomu, že sluchátka dnes vyrábí ve světě téměř každý výrobce přístrojů spotřební elektroniky, uvádíme pouze zlomek z této celkové produkce. Snažili jsme se vybrat pokud možno jednotlivé zástupce velké skupiny sluchátek, využívající elektroakustických měničů pracujících na elektrodynamickém, orthodynamickém a piezoelektrickém principu. S potěšením lze konstatovat, že tuzemská stereofonní otevřená sluchátka TESLA ARF 220 jsou plně srovnatelná s obdobnými zahraničními typy.

V závěru této práce jsme uvedli popis základních metod objektivních a subjektivních hodnocení podle příslušných ČSN. Je pravdou, že někteří čtenáři si soubor uvedených norem mohou opatřit a podrobně se s nimi seznámit, ale pro většinu bude zřejmě i stručný přehled nejdůležitějších elektroakustických měření velmi vítaný.

Literatura

- [1] Merhaut, J. a kol.: Příručka elektroakustiky. SNTL: Praha 1964.
- [2] Merhaut, J.: Teoretické základy elektroakustiky. Academia: Praha 1976.
- [3] Merhaut, J.: Zvuková technika. (Učební text.). Ediční středisko ČVUT: Praha 1983.
- [4] Smetana, C. a kol.: Praktická elektroakustika. SNTL: Praha 1981.
- [5] Svoboda, L., Štefan, M.: Reproduktoři a reproduktorové soustavy. SNTL: Praha 1983.
- [6] Boleslav, A.: Elektroakustická a elektromechanická měření. SNTL: Praha 1961.
- [7] Salava, T.: Elektroakustická a elektromechanická měření. SNTL: Praha 1979.
- [8] Šykora, B.: Stereofonie v praxi. SNTL: Praha 1980.
- [9] Smetana, C.: Stereofonie. SNTL: Praha 1961.
- [10] Svoboda, J., Brda, J.: Elektroakustika do kapsy. SNTL: Praha 1978.

- [11] Kolmer, F., Kyncl, J.: Prostorová akustika. SNTL/ALFA: Praha/Bratislava 1980.
- [12] Dušek, K.: Záznam a reprodukce zvuku (učební text). Ediční středisko ČVUT: Praha 1982.
- [13] Boleslav, A., Jončev, M.: Reproduktoři a reproduktorové soustavy. AR B2/1984.
- [14] Jončev, M.: Reproduktoři soustav. AR B4/1984.
- [15] Bárta, J.: Optimalizace návrhu elektrických výhybek. AR A4/1985.
- [16] ČSN 36 8261: Reproduktoři (1967).
- [17] ČSN 36 8262: Přímovysílající elektrodynamické reproduktory (1967).

- [18] ČSN 36 8265: Reproduktoři soustav (1971).
- [19] ČSN 36 7006: Měření akustických charakteristik přístrojů a zařízení s akustickým výstupem (1972).
- [20] Casopisy HiFi-Stereophonie (NSR) č. 7/79, 1/82, 12/82.
- [21] Casopis STEREOPLAY (NSR) č. 12/85.
- [22] Firemní literatura SONY, ASAHI, PIONEER, SANYO.
- [23] A0 235 658.
- [24] A0 234 704.
- [25] Casopis Radio (SSSR) č. 2/83.
- [26] Casopis AUDIO (USA) August 83.
- [27] PV 8318-84.

NÁVRH ROZHLASOVÉHO PŘIJÍMAČE

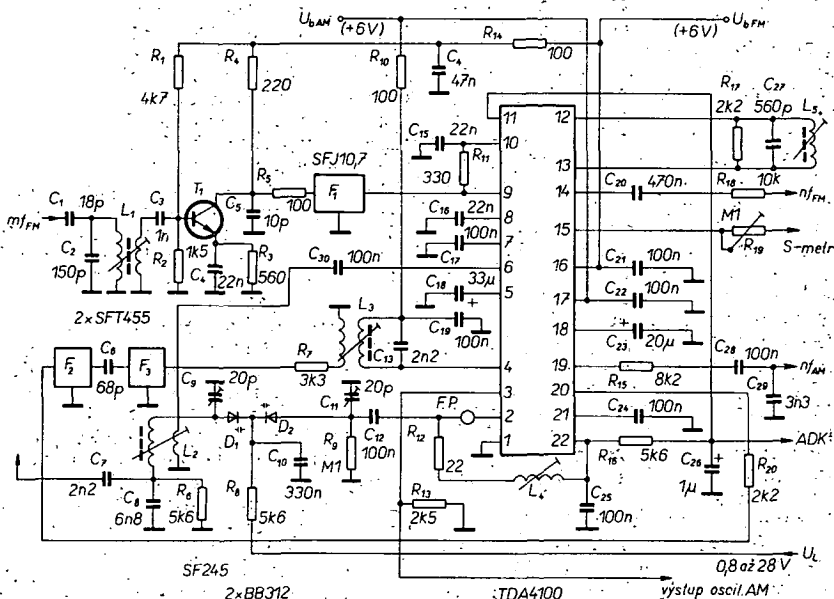
Vojtěch Matoušek

(Dokončení)

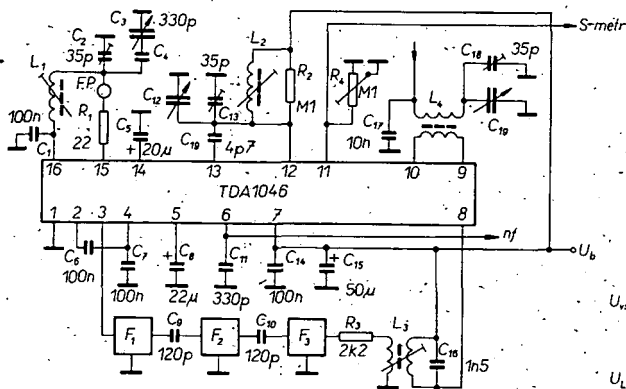
Na obr. 41 je zapojení kombinovaného mf zesilovače AM-FM s IO A4100D. A4100D (TDA4100) je AM přijímač a FM mf zesilovač, který má pouze společný výstup na S-metr. Každá ze signálových cest je samostatná. Signál z jednotky VKV je veden přes L_1, C_1, C_3 do předzesilovače T_1 , jehož pracovní bod je nastaven R_1, R_2 . Z pracovního rezistoru R_4 je signál veden přes R_5 na filtr F_1 a odtud do omezovače v TDA4100. Na vývody 12 a 13 IO je připojen detekční obvod L_5, C_{27}, R_{17} . Fázovací kondenzátory jsou součástí IO. Na vývodu 14 je k dispozici detekované napětí zesilovače FM. Na vývodu 15 IO je k dispozici napětí pro S-metr, které obdržíme jak při provozu FM, tak AM. Při provozu FM je zesilovač napájen napětím přivedeným na vývod 16 IO, při provozu AM napětím přivedeným na vývod 17. Výstupní napětí AM je odebráno z vývodu 19 IO. Napětím ADK z vývodu 11 je možné řídit kmitočty oscilátoru v jednotce VKV. Časová konstanta pro FM je dána C_{18} . Mf zesilovač AM je buzen z výstupu směšovače AM (vývod 4 IO) přes L_3, R_7, F_3, F_2 do vývodu 20 IO, kde je vstup mf zesilovače

AM. Součástí mf zesilovače AM je i detektor AM a dolní propust. Časová konstanta AVC pro AM je nastavena kondenzátorem C_{23} na vývodu 18 IO. Na vývodu 22 je stabilizované napětí 2,7 V/2 mA_{max}. Oscilátor AM na vývodu 2 IO je tvořen $L_4, R_{12}, C_{12}, C_{11}, R_3, D_2$. Rezistor R_9 uzavírá stejnosměrný obvod D_2 . Pro měření kmitočtu je oscilátor AM vyveden přes vnitřní emitrový sledovač na vývod 3 IO. Signál z antény je přes C_7, L_2 a C_{30} veden na vstup vf zesilovače, řízeného vnitřním napětím AVC. Vstup vf zesilovače je vyveden na vývody 6 a 7 IO, takže je umožněno i symetrické připojení vstupního obvodu. Vstupní obvod je přeladován D_1 , stejnosměrně je uzavřen přes R_6 .

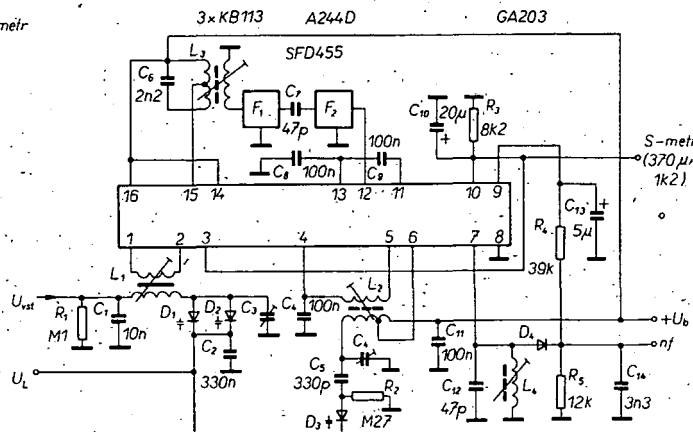
Zapojení kvalitního přijímače AM pro jeden vinový rozsah je na obr. 42. Jako aktivní prvek je použit IO TDA1046 fy Siemens, který je vyráběn i v RSR a PLR. Vstupní signál z antény je přes L_1 přiveden na vstup předzesilovače, řízeného vnitřním obvodem AVC. Z výstupu předzesilovače (vývod 12) je signál přes L_2 a C_{19} veden na vstup směšovače (vývod



Obr. 41. Zapojení přijímače AM a mf zesilovače pro FM s A4100D



Obr. 42. Zapojení přijímače AM s TDA1046



Obr. 43. Základní zapojení AM přijímače s A244D

13), na jehož výstup (vývod 8) je připojen přes $L_3 R_3$ filtr soustředěné selektivity (F_1, F_2, F_3). Z výstupu tohoto filtru je signál veden do třístupňového mf zesilovače, který má první dva stupně řízené napětím AVC. Časovou konstantu napětí AVC pro předzesilovač lze měnit kondenzátorem C_5 a časovou konstantu napětí AVC pro mf zesilovač kondenzátorem C_8 . Na výstupu mf zesilovače je zapojen detektor. Detekovaný nf signál je veden přes dolní propust a nf předzesilovač na výstup nf (vývod 6). Napětí pro S-metr lze odebrat z vývodu 11.

Na obr. 43 je zapojení středovlnného přijímače s A244D (TCA440). Vstupní signál je přes L_1 veden na vstup vf předzesilovače, jehož zisk je možno řídit napětím na vývodu 3. Dále je vstupní signál veden do směšovače, kam je přiváděn i signál oscilátoru $L_2 D_3$. C_5 je paddingový kondenzátor. Z výstupu směšovače (vývod 15) je signál veden přes $L_3 C_6$ na keramický filtr a z keramického filtru na vstup mf zesilovače (vývod 12). Druhý vstup mf zesilovače je přes $C_8 C_9$ uzemněn. Na výstup mf zesilovače (vývod 7) je připojen diodový detektor $D_4 L_4 C_{12}$, na jehož výstupu je detekovaný signál a usměrněný signál mf, který je filtrován C_{14} . Usměrněným vf napětím je řízen zesilovač AVC, jehož časová konstanta je nastavena článkem $R_3 C_{10}$. Z výstupu zesilovače AVC je odebráno napětí pro S-metr.

Vstupní obvody přijímače, ladění přijímačů

Vstupní a oscilátorové obvody superheterodynního přijímače je možné ladit proměnnou indukčností (variometrem), proměnným ladicím kondenzátorem nebo varikapem. V současné době se vedle ladicích kondenzátorů a variometrů používají pro ladění na rozsazích AM i varikapy, jejichž výhody si popíšeme.

Při použití varikapů pro ladění vstupních a oscilátorových obvodů získáváme následující výhody:

- laděný obvod zaujímá menší plochu, což je výhodné zejména v autopřijímačích a přenosných přijímačích,
- varikap lze umístit do optimálního místa v zapojení, což umožňuje konstruktérovi umístit ovládací prvek (obvykle potenciometr) na libovolné místo, neboť nemusí být žádná mechanická vazba mezi varikapem a ovládacím prvkem,
- jednoduše lze realizovat zvýšený komfort – předvolby vysíláčů nebo automatické ladění.

Je zřejmé, že tyto vlastnosti varikapů se uplatní nejen v pásmu VKV, nýbrž i v pásmech AM, tj. na dlouhých, středních a krátkých vlnách. Při použití varikapů k ladění v pásmech AM vznikají ovšem i problémy, způsobené zejména silnými

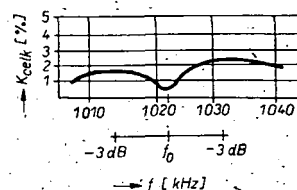
signály (větší zkreslení nf signálu způsobené velkým nakmitaným napětím na laděném obvodu). Dále v pásmech AM je nutné, aby varikap měl velký poměr mezi kapacitou při malém ladicím napětí a kapacitou při velkém ladicím napětí. Přes tyto nevýhody se v pásmech AM varikapy uplatňují stále častěji.

Dále si rozebereme problémy, vznikající s použitím varikapů. Varikap je nelineární prvek, jehož kapacita je závislá na přivedeném ladicím napětí. Pokud je v laděném obvodu použit jako kondenzátor varikap, pak je nutné při vybudování kmitavého obvodu počítat s nelineárním zkreslením elektrického signálu. Zkreslení se, pokud nejsou učiněna protipatření, zvětšuje s napětím signálu na varikapu, takže jsou kritické zejména silné signály. Nelineárními vlastnostmi varikapů mohou být způsobeny nežádoucí jevy. V kmitavém obvodu s varikapem vznikají kromě základní vlny i její harmonické, které mohou způsobit rušení.

Podstatně rušivěji působí dva nebo několik vstupních signálů, které se dostanou na kmitavý obvod. Nežádoucím jevem je pak křížová modulace, při níž modulace rušivého signálu působí na signál užitečný. Pokud se vyskytne na užitečné nosné rušivý signál, který je v pásmu užitečného kanálu, pak jej již žádnými selektivními prostředky nelze odstranit. Proto je nutné, aby křížová modulace, způsobená varikapem ve vstupním obvodu, byla co nejmenší.

Rovněž nepříjemná je intermodulace (u amplitudově modulovaného vf signálu) vlivem nelinearity přenosu mezi nosnou a horním a dolním postranním pásmem, která při přítomnosti harmonických modulačních signálů způsobí v postranních pásmech modulační zkreslení, což znamená, že se zvětší zkreslení přenášeného nf užitečného signálu. Rovněž i zde rušivý jev, způsobený nelinearitou varikapu ve vstupním obvodu, nelze již žádnými dalšími prostředky odstranit, neboť nežádoucí intermodulační produkty jsou v pásmu užitečného signálu.

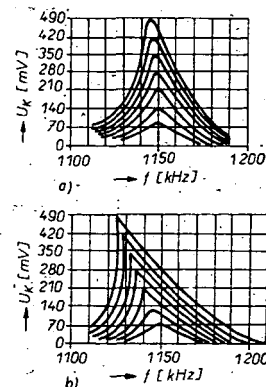
Popsané nežádoucí jevy způsobené nelinearitou varikapu, zejména křížové modulace a intermodulace, závisí rovněž na rozladění kmitavého obvodu od užitečného nosné. Tyto vlastnosti mohou být odvozeny teoreticky nebo zjištěny praktickým měřením. Na obr. 44 je příklad změřené závislosti nf činitele zkreslení na rozladění obvodu při konstantním napětí signálu U_k na vstupním obvodu laděném varikapem při příjmu amplitudově modulovaného vf signálu heterodynním přijímačem. Je zřejmé, že při přesném naladění činitel zkreslení k_{celk} bude malý a že se při kladném nebo záporném rozladění



Obr. 44. Závislost nf činitele zkreslení k_{celk} na rozladění $\Delta f/f$ vstupního obvodu s KB113 při příjmu amplitudově modulovaného vf signálu. Nosný kmitočet 1022,7 kHz, $f_{mod} = 400$ Hz, $m = 80\%$, $U_L = 4$ V, napětí signálu na varikapu $U_{ker} = 245$ mV. Při použití ladicího kondenzátoru je k_{celk} menší než 0,25 %

bude zvětšovat a při velkém rozladění opět zmenšovat. Maxima zkreslení jsou v místech, v nichž se propustná křivka obvodu snižuje o 3 dB vzhledem k maximu. Podobnou závislost dostaneme mezi rozladěním a činitelem křížové modulace. Nelineární zkreslení způsobené rozladěním lze zmenšit zvětšením šířky pásma vstupního obvodu, což však zhoršuje selektivitu vstupního obvodu. S ohledem na dobré příjmové vlastnosti je zapotřebí udělat kompromis mezi zkreslením a selektivitou vstupního obvodu.

Vzhledem k napěťové závislosti kapacity varikapu vznikají další nežádoucí jevy: Rezonanční křivka obvodu laděného varikapem se při zvětšujícím se nakmitaným napětím stává nesymetrická, což vede k po-



Obr. 45. Vliv amplitudy vf napětí na rezonanční křivku kmitavého obvodu laděného varikapem; a) pro varikap s vhodnou křivkou kapacity, b) pro varikap s nevhodnou křivkou kapacity

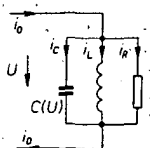
suvu rezonančního kmitočtu a tím k rozla-
dění obvodu. Jak je zřejmé z obr. 45, na
kterém jsou rezonanční křivky obvodů se
dvěma různými varikapem pro různá rezo-
nanční napětí, může být deformace tak
veliká, že hrana rezonanční křivky bude
kolmá. Popsané nelineární jevy a defor-
mace rezonanční křivky, jak vyplývá z teo-
retické úvahy, jsou vždy způsobeny napě-
ťovou závislostí kapacity varikapu. Při
velkém přebuzení deformaci rezonanční
křivky vznikly posuv rezonančního kmi-
točtu vstupního obvodu je spojen vždy
s odpovídajícím modulačním zkreslením
a velkou křížovou modulací. Požadujeme-
li např. malé zkreslení nf signálu, pak
dostáváme závislost mezi ladícím napě-
tím U_L a přípustným maximálním napětím
signálu U_k , která musí být při návrhu
obvodu uvažována, abychom tento poža-
davek splnili. Při malém ladícím napětí U_L
je přípustné napětí U_k malé a zvětšuje se
přímo úměrně s rostoucím napětím U_L .
Protože varikap pracuje v závěrném smě-
ru, nesmí být mezivrcholová velikost napě-
tí U_k na varikapu větší než ladící napětí
 U_L . Od určitého napětí U_L se již přípustné
napětí U_k nezvětšuje, ale zůstává více či
méně konstantní a při velkém U_L se opět
zmenšuje. Kritický rozsah odolnosti vůči
velkým signálům u varikapu je tedy při
malém a velkém ladícím napětí U_L .

Vyvstává tedy otázka, zda je možné
zpracovat velké vstupní signály při použití
varikapem laděného vstupního obvodu,
bez toho, že by vznikly výše popsané
nežádoucí jevy. Tento problém je možné
řešit dvěma způsoby:

- zlepšením vlastností varikapu s ohle-
dem na velké signály. Teoretické
a praktické výzkumy ukázaly, že neli-
neární vlastnosti varikapu jsou velmi
závislé na kapacitě varikapu nastavené
ss napětím, tj. na charakteristice vari-
kapu. Výpočty, jejichž výsledky jsou
uveřejněny dále, mají dokázat, že je opti-
mální závislost mezi C_0 a U_L , při níž
rozladění obvodu, křížová modulace
a modulační zkreslení mohou být v prv-
ním, přibližném zanedbány. V praxi je
nutno však počítat s tolerancemi, takže
se částečně uplatní jevy vedoucí ke
zkreslení;
- regulačním obvodem lze dosáhnout
toho, že amplituda signálu U_k na obvo-
dě bude menší než maximálně přípust-
ná velikost. Regulační obvod musí být
navržen tak, aby nezpůsobil zkresle-
ní. Zapojení takového obvodu je uvede-
no dále.

První metoda, jak je patrné, je závislá
na technologii výroby varikapu, kdežto
druhá je závislá na obvodovém řešení. Při
vysokých požadavcích na přijímač je nut-
no obě metody vhodně kombinovat.

Abychom dosáhli optimální charakte-
ristiky varikapu, je nutné vzít v úvahu
nelinearity, které vznikají na kmitavém
obvodu s varikapem. Východním bodem
pro takový výpočet je diferenciální rovni-
ce kmitavého obvodu. V obr. 46 jsou
zanedbány rezistory v sérii s cívkou a kon-



Obr. 46. Zapojení kmitavého obvodu pro
rozběr vlivu varikapu

denzáteorem. Příslušná diferenciální rov-
nice vychází z obvyklé definice kapacity

$$C = dq/du \quad (\text{kde } q \text{ je náboj}) \quad (1)$$

a základních vztahů

$$i_C = dq/du = dq/du \cdot du/dt = C du/dt,$$

$$i_R = u/R \text{ a rovněž } u = L di_L/dt.$$

Derivací rovnice $i_R + i_L + i_C = i_0$ a dosaze-
ním příslušných výrazů

$$L \frac{d}{dt} \left[C(u) \frac{du}{dt} \right] + \frac{L}{R} \frac{du}{dt} + u = \frac{di_0}{dt} \quad L \quad (2)$$

nebo

$$\frac{1}{\omega_0^2} \frac{d}{dt} \left[\frac{C(u)}{C_0} \frac{du}{dt} \right] + \frac{1}{\omega_0 Q} \frac{du}{dt} + u = \frac{1}{\omega_0^2 C_0} \frac{di_0}{dt}$$

kde $C_0 = C(U_0)$ je kapacita při ss napětí

$$U_0, \quad \omega_0 = 1/\sqrt{LC_0} \text{ rezonanční kmitočet,}$$

$$Q = \omega_0 C_0 R \text{ jakost obvodu,}$$

$$i_0 \text{ celkový proud tekoucí obvodem,}$$

$$u = U - U_0 \text{ napětí signálu.}$$

Kapacita C závisí na napětí a mění se
podle diferenciální rovnice, která není
zcela obecná. Pro kapacitu C v okolí
pracovního bodu platí (podle kvadratic-
kého členu odvozeného Taylorova roz-
voje):

$$C(u) = C_0 + C' u + 0,5 C'' u^2 \quad (3)$$

kde C'_0 a C''_0 jsou první a druhá derivace
kapacity $C(u)$ v pracovním bodě, které
jsou dány vztahy

$$C'_0 = \frac{dC}{du} / U_0,$$

$$C''_0 = \frac{d^2 C}{du^2} / U_0.$$

Připustíme, že v kmitavém obvodě
vzniknou nelineární jevy, vyjádřené veli-
činou

$$\psi(U_0) = \frac{C_0}{8C'_0} - \frac{1}{6} \left(\frac{C'_0}{C_0} \right)^2 \quad (4)$$

Za daného předpokladu dostaneme např.
přibližně změnu Δf rezonančního kmi-
točtu kmitavého obvodu v závislosti na
efektivní velikosti signálového napětí U_k
na obvodě:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{f(U_k) - f_0}{f_0} = \psi U_k^2 \quad (5)$$

kde $f(U_k)$ je rezonanční kmitočet při napětí
 U_k a f_0 tentýž při $U_k = 0$. Dále platí pro nf
zkreslení k_2 a k_3 , způsobené obvodem při
stupni modulaci m u amplitudově modu-
lovaného vln signálu:

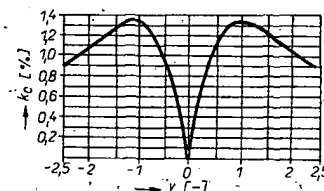
$$k_2 \approx 10m (\psi Q U_k^2)^2, k_3 \approx 0,5mk_2 \quad (6)$$

a nakonec za daných předpokladů při
dvou vln signálech na obvodě bude činitel
křížové modulace

$$k_c = \frac{m_c}{m_s} = 32(1 + 0,75m_s^2)(\psi Q U_s^2)^2 \quad (7)$$

kde m_s je stupeň modulace, U_s efektivní
velikost základní harmonické rušivého
signálu na obvodě a m_c stupeň modulace
vln užitečného signálu. V rovnici (7) před-
pokládáme, že nosná užitečného signálu
je menší, než signálu rušivého. Z rovnic
(5) až (7) vyplývá, že nelinearity se prudce
zvětšuje se signálovým napětím U_k nebo
 U_s na obvodě. Vztahy (6) a (7) platí jen při
přesném naladění na užitečnou nosnou.
Při normovaném rozladění

$$y = \frac{2(f_N - f_0)}{f_0} Q \text{ platí pro činitel křížové}$$



Obr. 47. Příklad závislosti činitele křížové
modulace k_c na normovaném rozladění
 y v kmitavém obvodu s varikapem $C(U)$;
 $Q = 50$, $\psi = 6,75 \cdot 10^{-3}$, $U_{\text{ref}} = 100 \text{ mV}$,
 $m_s = 0,8$

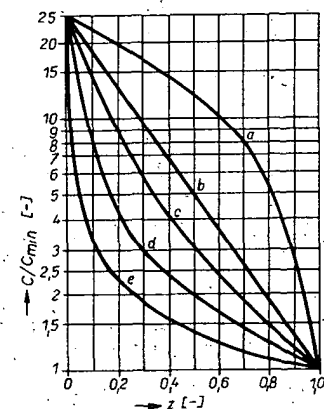
modulace:

$$k_c = \left| \frac{8yQ\psi U_s^2}{1+y^2} + \frac{32(1+y^2)^2}{(1+y^2)^2} \right| \cdot (1 + 0,75m_s)(\psi Q U_s^2)^2 \quad (7a)$$

Pro $y = 0$ dostaneme samozřejmě výraz
(7). Pomineme-li malou nesymetrii, dosta-
neme podle rovnice (7a) k_c s rostoucím
rozladěním y výsledky shodné s měření
(viz obr. 44) teprve při rozladění $|y| > 1$.
Příklad je na obr. 47. Nulové body při
malém záporném rozladění nejsou v praxi
vzhledem k dodatečným jevům patrné.

Charakteristická veličina ψ , závislá na
nelineárních jevech, bude určena rovnicí
(4) z kapacity C , strmosti a zakřivení
charakteristik varikapu v daném pracov-
ním bodě, tzn. z tvaru a polohy charakte-
ristiky $C(U)$. ψ je závislé na pracovním
bodě U_0 . Podle rovnice (4) je ψ tvořeno
dvěma členy, které se při vhodných C , C'
a C'' přímo kompenzují, takže ψ může
odpadnout.

Pro přehlednost jsou zkoumány různé
charakteristiky varikapů a je vypočítána
maximální hodnota ψ v rozsahu napětí
 U_{min} a U_{max} . Na obr. 48 jsou vyneseny
jednotlivé zvolené závislosti kapacity C na



Obr. 48. Různé charakteristiky varikapů
v normovaném provedení $C(z)$. $C_{\text{min}} = f(z)$;
a) lineárně klesající, b) exponenciální, c)
mocninová s $n = 3$, d) mocninová s $n = 1$,
e) mocninová s $n = 0,5$

napětí U . Je zvoleno normalizované pro-
vedení, při kterém je na svislou osu vynes-
en poměr C/C_{min} a na vodorovnou osu
veličina

$$z = \frac{U - U_{\text{min}}}{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}} \quad (8)$$

takže je možné porovnání nezávisle na
rozsahu napětí U_{min} až U_{max} a na kapacitě.
Dále platí vztahy:

$$C_{\text{min}} = C(U_{\text{min}}) = C(z = 0), C_{\text{max}} = C(U_{\text{max}}) = C(z = 1)$$

$$C_{\text{max}} > C_{\text{min}} \text{ a } U_{\text{max}} > U_{\text{min}}$$

Na obr. 48. jsou uvedeny následující závislosti:

a. Při zvětšujícím se napětí se lineárně zmenšuje kapacita (křivka a na obr. 48).

$$C = C_A (B - U) \quad (9)$$

nebo v normalizovaném vyjádření

$$\frac{C}{C_{\min}} = q - (q - 1)z \quad (9a)$$

$$\text{kde } q = C_{\max}/C_{\min}, C_A = \frac{C_{\min}(q-1)}{U_{\max}-U_{\min}}$$

$$B = \frac{qU_{\max} - U_{\min}}{q-1}$$

Pro veličinu Ψ dostaneme z rovnic (4) a (9)

$$\Psi = \frac{-1}{6(B-U)^2} \quad (9b)$$

takže maximální $|\Psi|$ bude při U_{\max} :

$$|\Psi|_{\max} = \frac{1}{6(B-U_{\max})^2} = \frac{1}{6} \left| \frac{C_{\max}}{C_{\min}} - 1 \right| \quad (9c)$$

b. Exponenciální charakteristika (křivka b na obr. 48)

$$C = C_A e^{-U/B} \quad (10)$$

$$\text{nebo } \frac{C}{C_{\min}} = \exp[(1-z)\ln q] \quad (10a)$$

kde $q = C_{\max}/C_{\min}$, $B = (U_{\max} - U_{\min})/\ln q$,

$$C_A = C_{\min} e^{B/U_{\max}} = C_{\min} \left(\frac{C_{\max}}{C_{\min}} \right)^{\frac{U_{\max}}{U_{\max}-U_{\min}}}$$

Charakteristická veličina Ψ zde bude:

$$\Psi = -\frac{1}{24B^2} = -\frac{1}{24} \left(\frac{\ln(C_{\max}/C_{\min})}{U_{\max}-U_{\min}} \right)^2 \quad (10b)$$

a je nezávislá na napětí U , takže pro maximální hodnotu platí

$$|\Psi|_{\max} = |\Psi| \quad (10c)$$

c. Charakteristická mocninová (křivka c pro $n=3$, křivka d pro $n=1$ a křivka e pro $n=0,5$ na obr. 48)

$$C = \frac{A}{(U+B)^n} \quad (11)$$

$$\text{nebo } \frac{C}{C_{\min}} = \left(\frac{q'}{1+(q'-1)z} \right)^n \quad (11a)$$

$$\text{kde } q' = \left(\frac{C_{\max}}{C_{\min}} \right)^{1/n}, A = C_{\min} \left[\frac{q'-1}{q'} (U_{\max}-U_{\min}) \right]^n$$

$$B = \frac{U_{\max} - q' U_{\min}}{q' - 1}$$

Pro veličinu Ψ lze z rovnic (4) a (11) odvodit:

$$\Psi = \frac{n}{8} \left(1 - \frac{n}{3} \right) \frac{1}{(U+B)^2} \quad (11b)$$

Maximální hodnota Ψ bude při $U = U_{\min}$

$$|\Psi|_{\max} = \frac{n}{8} \left(1 - \frac{n}{3} \right) \left(\frac{C_{\max}/C_{\min}}{U_{\max}-U_{\min}} \right)^{2/n} - 1$$

Pro všechny zde uvedené charakteristiky varikapů (mimo mocninové charakteristiky při $n=3$) dostáváme maximální hodnotu Ψ a z ní vyplývající nelineární jevy s rostoucím poměrem kapacit C_{\max}/C_{\min}

a při rostoucím rozsahu napětí $U_{\max} - U_{\min}$.

V tab. 8 jsou hodnoty veličiny $|\Psi|_{\max}$ pro nahoře diskutované a na obr. 48 zobrazené charakteristiky pro poměr kapacit $C_{\max}/C_{\min} = 25$ a rozsah napětí $U_{\max} - U_{\min} = 8$ V. Z tab. 8 je zřejmé, že lineární klesající a mocninová charakteristika pro $n \approx 2$ způsobují při velkém přebuzení velké až nepřijatelné nelinearity. Je zřejmé, že pro potlačení nelinearity v důsledku velkého signálu jsou nejvhodnější varikapy s exponenciální nebo mocninovou charakteristikou, kde mocnina se blíží 3. Z rovnice (11b) je zřejmé, že při $n=3$ bude veličina Ψ rovna nule a tak lze odstranit nelineární zkreslení. V praxi však i při exponentu $n=3$ vznikají v malé míře nelinearity. Přesto je mocninová charakteristika s exponentem $n=3$ ideální charakteristikou varikapu $C(U)$ pro kapacitu varikapem laděného obvodu.

V předchozích částech je vždy uvažována celková kapacita C laděného obvodu. Ve varikapem laděném paralelním kmitavém obvodu je celková kapacita tvořena napětově závislou kapacitou C_D varikapu a napětově nezávislou kapacitou C_p (kapacita cívky, vedení, obvodová), takže

$$C = C_D + C_p \quad (12)$$

Nakonec si stanovíme optimální charakteristiku $C_D(U_L)$ varikapu, pro kterou platí rovnice (12)

$$C_D(U_L)_{\text{opt}} = C(U_L)_{\text{opt}} - C_p \quad (12a)$$

kde pro $C(U_L)_{\text{opt}}$ použijeme mocninovou charakteristiku pro $n=3$ podle rovnice (11). Je zřejmé, že podle rovnice (12) platí:

$$C_{\min} = C_{D\min} + C_p \text{ a } C_{\max} = C_{D\max} + C_p$$

Pro optimální charakteristiku varikapu dostaneme

$$C_D(U_L)_{\text{opt}} = \frac{A}{(U+B)^3} - C_p \quad (13)$$

nebo

$$\left(\frac{C_D(z)}{C_{D\min}} \right)_{\text{opt}} = \left(\frac{q''}{1+(q''-1)z} \right)^3 (1+p) - p \quad (13a)$$

kde $p = C_p/C_{D\min}$, $d = C_{D\max}/C_{D\min}$,

$$q'' = \left(\frac{d+p}{1+p} \right)^{1/3} = \left(\frac{C_{D\max} + C_p}{C_{D\min} + C_p} \right)^{1/3}$$

$$B = \frac{U_{L\max} - q'' U_{L\min}}{q'' - 1}$$

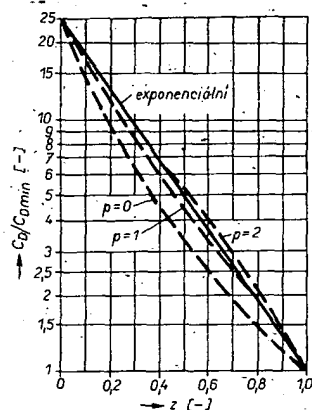
$$A = \frac{q''}{q'' - 1} (U_{L\max} - U_{L\min})^3 (C_{D\min} + C_p)$$

podle rovnice (8):

Optimální charakteristika varikapu je závislá tedy i na paralelní kapacitě C_p kmitavého obvodu. Poměr p paralelní kapacity C_p k minimální kapacitě $C_{D\min}$ varikapu je v praxi u středovlnného vstupního obvodu 0,5 až 2. Na obr. 49 jsou normované charakteristiky podle rovnice (13a) pro $p=0, 1, 2$ a pro porovnání exponenciální charakteristika podle rovnice (10a) pro $C = C_D$ při poměru kapacit $d = C_{D\max}/C_{D\min} = 25$. Je zřejmé, že pro varikap s exponenciální charakteristikou se jen málo liší od ideální charakteristiky pro $p=1$ a $p=2$. V praxi na jedné straně

Tab. 8. Hodnoty Ψ_{\max} na charakteristice varikapu

Charakteristika varikapu	Ψ_{\max}
lineární klesající, rovn. (9)	1,50
exponenciální, rovn. (10)	$6,75 \cdot 10^{-3}$
mocninová rovnice (11) $n=0,5$	317
$n=1,0$	0,75
$n=2,0$	$2,08 \cdot 10^{-2}$
$n=3,0$	0



Obr. 49. Optimální charakteristika varikapu při různých napětově nezávislých paralelních kondenzátorech podle rovnice (13a) (čárkovaná), porovnaná s exponenciální charakteristikou podle rovnice (10a). Sledovaný parametr $p = C_p/C_{D\min}$.

kapacita paralelního kondenzátoru není nikdy přesně stanovena, a na druhé straně průběh realizované charakteristiky má určité „výrobní“ tolerance, takže varikap s exponenciální charakteristikou dává velmi dobré výsledky.

V oscilátoru jsou vzhledem k sériové kapacitě (padding) jiné poměry než ve vstupním obvodu, takže charakteristika $C_D(U_L)$ podle rovnice (13) nemusí být optimální. Je možné bez potíží oscilační napětí udržet tak malé, že můžeme zanedbat rušivé jevy vzniklé nežádoucím rozladěním. Oscilátorové napětí se snažíme udělat co nejmenší, abychom neměli např. problémy s vyzařováním.

Nakonec této statě je třeba ještě jednou zdůraznit, že optimalizaci charakteristiky můžeme potlačit rušivé jevy. Je známo, že varikap má řadu dalších vlastností, jako je např. teplotní činitel, sériový odpor, různý průběh ladící charakteristiky $f = f(U_L)$ varikapem laděného kmitavého obvodu, který souvisí s charakteristikou varikapu $C_D(U_A)$, které mají podstatný vliv na parametry kmitavého obvodu. Dále se uplatňují technologická omezení při výrobě, vyplývající z fyzikální podstaty. V praxi je tedy volen kompromis.

Potřebná kapacita a změna kapacity varikapu

Pokud je kmitavý obvod přeladován v kmitočtovém rozsahu f_1 až f_2 ($f_2 > f_1$) změnou kapacity, pak obvodová kapacita musí být v poměru:

$$\frac{C_{\max}}{C_{\min}} = \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^2 \quad (14)$$

Obvodová kapacita varikapem laděného kmitavého obvodu je tvořena kromě kapacity varikapu C_D ještě konstantní para-

lelní kapacitou C_p , která je součtem nezbytné kapacity zapojení (kapacita cívky, kapacita dořadovacího kondenzátoru, kapacita vodičů a vstupní kapacita připojení obvodu). Kapacita C_p je při „bezkapacitní“ montáži v praxi asi 10 až 25 pF, je závislá také na mechanickém provedení a na tom, jedná-li se o jedno nebo několikarozsahový přijímač, jak se přepínají rozsahy (např. paralelním nebo bezkapacitním sériovým zapojením cívek) a měnili se ve vstupním nebo oscilátorovém obvodu.

S ohledem na konstantní paralelní kapacitu C_p a proměnnou kapacitu C_D platí pro obvodovou kapacitu $C = C_D + C_p$, takže z rovnice (14) dostaneme vztah:

$$\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 = \frac{C_{D \max} + C_p}{C_{D \min} + C_p} \quad (15)$$

Tato rovnice se může vyjádřit pomocí poměru kapacit $C_{D \max}/C_{D \min}$

$$\frac{C_{D \max}}{C_{D \min}} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 + \frac{C_p}{C_{D \min}} \left[\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 - 1 \right] \quad (16)$$

nebo paralelní kapacitou C_p :

$$C_p = \frac{C_{D \max} - \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 C_{D \min}}{\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 - 1} \quad (17)$$

U superheterodynu, jak je známo, může být při „jednokvůličkovém“ ladění chyba souběhu mezi vstupním a oscilátorovým obvodem minimální, když je (při ladění změnou kapacity) poměr C_p/C_D stanoven z ladicí kapacity vstupního a oscilátorového obvodu. Zejména při $C_p/C_D = 1$, jak je při použití varikapů obvyklé, je zásadně možné dosáhnout na třech kmitočtech v přeladovaném pásmu minimální chyby souběhu (tříbodový souběh).

Výrazy (15) až (17) lze při výpočtu použít i pro návrh obvodů superheterodynního přijímače. Pro přesný návrh je na obr. 50 vyneseno s ohledem na tříbodový souběh poměr kapacit $C_{D \max}/C_{D \min}$ a C_p pro dané $C_{D \max}$ a pro středovlnný vstupní obvod. Jako mezní kmitočty rozsahu jsou $f_1 = 510 \text{ kHz}$, $f_2 = 1620 \text{ kHz}$ a $f_{mf} = 460 \text{ kHz}$.

Z křivek na obr. 50 můžeme odvodit, že je při zvětšující se paralelní kapacitě C_p při daném poměru $C_{D \max}/C_{D \min}$ se většinou potřebná kapacita $C_{D \max}$ zvětšuje nebo se při konstantním $C_{D \max}$ zmenšuje poměr $C_{D \max}/C_{D \min}$. Pro varikap platí z výrobních důvodů přijatelný kompromis mezi $C_{D \max}$ a poměrem $C_{D \max}/C_{D \min}$. Vezmeme-li např. poměr $C_{D \max}/C_{D \min} = 20$, který lze ještě dobře realizovat, pak bude podle obr. 50 při $C_p = 25 \text{ pF}$ $C_{D \max} = 500 \text{ pF}$ a při $C_p = 20 \text{ pF}$ bude $C_{D \max} = 400 \text{ pF}$. Pro přeladění středních vln tedy prakticky potřebujeme maximální kapacitu mezi 400 až 600 pF. Čím bude větší maximální kapacita $C_{D \max}$ varikapu vztažená na stejný poměr $C_{D \max}/C_{D \min}$, tím snadněji se daný obvod realizuje a navrhuje.

Dlouhovlnný rozsah je oproti středovlnnému užší a proto je možné pro dlouhé vlny použít „středovlnný“ varikap. Se současnými varikapu není možné přeladit celý krátkovlnný rozsah od 49 m do 11 m bez rozdělení pásma. Při $C_p = 25 \text{ pF}$, $C_{D \max}/C_{D \min} = 20$ a $C_{D \max} = 500 \text{ pF}$ je poměr kmitočtů $f_2/f_1 = 3,24$, takže v pásmu KV je možné ladit od 5,95 do 17,9 MHz.

Obr. 50. Závislost potřebného poměru kapacit $C_{D \max}/C_{D \min}$ na kapacitě paralelního kondenzátoru pro danou maximální kapacitu varikapu $C_{D \max}$ u přijímače SV s ohledem na chyby vzniklé při tříbodovém souběhu. Kmitočtový rozsah $f_1 = 510 \text{ kHz}$, $f_2 = 1620 \text{ kHz}$, $f_{mf} = 460 \text{ kHz}$

Ladění varikapu v pásmu KV přináší další problémy, jako je velká citlivost na změny ladicího napětí a větší útlum obvodu, proto je výhodné KV rozdělit na několik podrozsahů.

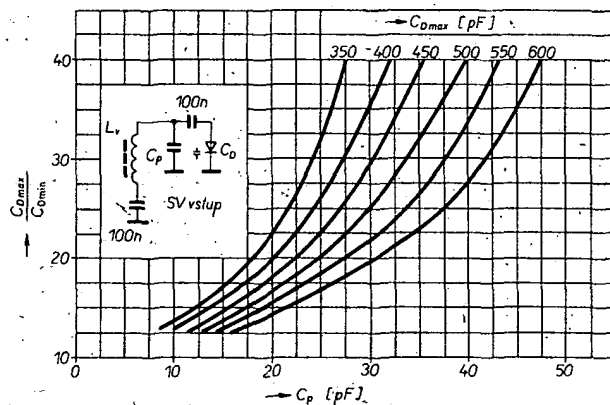
Volba ladicího napětí

Při volbě rozsahu ladicího napětí varikapu musíme vzít do úvahy vlastnosti varikapu, které se při praktickém použití vyskytují, a někdy je nutné zvolit kompromis. Nelineární zkreslení, která vznikají v obvodu s varikapem, vznikají při konstantním zdvihu $C_{D \max}/C_{D \min}$ při použití většího rozsahu ladicího napětí. Veličina Ψ závislá na charakteristice $C(U)$ (viz rovnici (4)), popisuje v prvním přiblížení nelineární poměry na varikapu a pro exponenciální průběh kapacity varikapu podle rovnice (10b) je nepřímou úměrná $U_L \max - U_L \min$. Také u ostatních křivek závislosti $C(U)$ je stejná nebo podobná závislost veličiny Ψ na rozsahu ladicího napětí. U varikapů, které jsou určeny pro napětí 20 až 30 V, lze snadněji dosáhnout minimální nelinearity. K získání potřebného dobře stabilizovaného ladicího napětí, z něhož je napájen ladicí potenciometr, je zapotřebí napájecí napětí, které je aspoň o 1 V větší, než maximální ladicí napětí. V autopřijímačích a přenosných přijímačích není běžné 30 V k dispozici, proto se používají měniče, které mají řadu nevýhod: dodatečné náklady, místo pro montáž, mohou způsobovat rušení harmonickými, které spadají do přijímaných rozsahů. Proto se dnes vyrábějí varikapu se závěrným napětím 8 až 9 V.

Minimální ladicí napětí varikapu, které v každém případě musí být v rozsahu závěrného napětí varikapu, je určeno maximálně potřebnou kapacitou $C_{D \max}$. Odolnost vůči velkým signálům je lepší při větších napětích, takže minimální ladicí napětí je nutné volit co největší. Ladicí napětí varikapu musí být nezávislé na napájecím napětí, neboť jeho změny vedou k rozladování přijímače. Pro přípustné rozladění Δf_p a strmost ladění df/dU_L přijímače platí pro přípustnou změnu $(\Delta U_H/U_H)_p$ maximálního ladicího napětí U_H , kterým je napájen ladicí potenciometr

$$\left(\frac{\Delta U_H}{U_H}\right)_p = \frac{\Delta f_p}{df/dU_L} U_L$$

Rozhodující je nejmenší poměr $(\Delta U_H/U_H)_p$ v blízkosti horní hranice rozsahu ladicího napětí. Když jsou požadavky na „horní“ ladicí napětí dány, je třeba uvést, že pro přípustné rozladění $\Delta f = 1 \text{ kHz}$ je kritická minimální velikost $(\Delta U_H/U_H)_p$ např. při přibližně exponenciální křivce $C_D(U_L)$ a středních vlnách v rozsahu 10^{-3} , takže

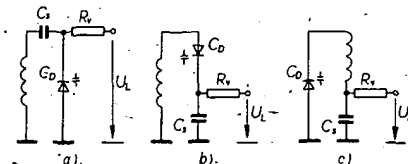


pro „horní“ napětí 8 V smí být změny ΔU_H maximálně 8 mV. Při použití ADK mohou být tyto změny třikrát větší. Uvedené závěry neplatí pro kmitočtovou syntézu.

Požadavky na ladicí napětí jsou tedy značné. Pro získání konstantního „horního“ ladicího napětí již nepostačí obvyklé Zenerovy diody ani běžné stabilizátory, používají se teplotně kompenzované Zenerovy diody nebo Zenerovy diody s termostatem. Teplotní závislost ladění přijímače není závislá jen na „horním“ ladicím napětí, ale na mnoha dalších činitelích, jako je teplotní závislost děliče napětí v ladicím agregátu, na kapacitě a indukčnosti oscilátoru a vstupního obvodu.

Závěrný proud a oddělovací odpor

Aby napětí na varikapu nebylo zkrácováno cívku, musíme do kmitavého obvodu, jak je zřejmé z obr. 51, kromě varikapu zapojit i sériový kondenzátor C_s . Pevný sériový kondenzátor ve vstupním obvodu



Obr. 51. Různé kapem z hlediska způsoby zapojení přivedení ladicího napětí U_L přes oddělovací rezistor R_v

má kapacitu mnohokrát větší než je $C_{D \max}$, v oscilátorovém obvodu je srovnatelná nebo i menší než $C_{D \max}$. Místo pevného sériového kondenzátoru C_s je možné zapojit i druhý varikap, jak je to obvyklé u vstupních jednotek VKV. U přijímačů AM se to obvykle nedělá, neboť kapacita varikapu by musela být zejména pro střední a dlouhé vlny velmi velká, protože se při „dvoudiodovém“ ladění uplatňuje jen poloviční kapacita varikapu. Ladicí napětí U_L je přivedeno do spoje varikap-sériový kondenzátor C_s přes předradný rezistor R_v . Tento rezistor odděluje kmitavý obvod a zdroj ladicího napětí. Na jedné straně je nutné oddělit v napětí nakmitané od přívodu ladicího napětí, na druhé straně je třeba stejnosměrně s ladicím napětím spojit. Po přívodu ladicího napětí se mohou přenášet rušivá napětí, která se přičtou k ladicímu napětí a tak způsobují nežádoucí změnu kapacity varikapu. Oddělení je závislé jak na odporu rezistoru R_v , tak i na kapacitě kondenzátoru C_s , který působí jako filtrační. Odpor R_v musíme volit tak, aby kmitavý obvod nebyl zbytečně zatlučen. Odpor rezistoru R_v je závislý i na použitém zapojení; na obr. 51 jsou jednotlivá základní zapojení. Při podmínce $C_s \gg C_D$ bude R_v v zapojení podle

obr. 51b a 51c relativně malý, neboť je zapojen paralelně k C_s . V zapojení podle obr. 51a je obvod poměrně citlivý na přetížení, R_v se transformuje do obvodu jako paralelní odpor R'_p , pro zapojení podle obr. 51a platí:

$$R'_p = R_v (1 + \frac{C_0}{C_s})^2 \quad (19a)$$

pro obr. 51b, 51c je:

$$R'_p = R_v (1 + \frac{C_s}{C_0})^2 \quad (19b)$$

a pro jakost Q obvodu s rezistorem R_v platí

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{1}{\omega C R'_p}} \quad (20)$$

kde Q_1 je jakost pro $R_v = \infty$ a C je činná kapacita obvodu. Bude-li výraz v závorce rovnice (19b) velký, bude $R'_p \gg R_v$ a vliv R_v na kmitavý obvod můžeme zanedbat. Pro obr. 51a se výraz v závorce rovnice (19a) jen málo zvětšuje nad 1, takže jako R_v je nutno použít velký odpor (asi 100 k Ω), aby obvod nebyl zatlumován. U oscilátorového obvodu, který je aktivním prvkem odtlumen, hraje vnější zatížení menší roli, přesto je vhodné jako R_v volit rezistor s velkým odporem.

Nezávisle na způsobu připojení vzniká na oddělovacím odporu R_v úbytek napětí, vyvolaný protékajícím závěrným proudem varikapu I_R

$$\Delta U_R = U_L - U_R = I_R R_v$$

o který je napětí na varikapu menší. Bude-li např. $R_v = 100$ k Ω a přípustná změna napětí $\Delta U_{R0} = 8$ mV, pak závěrný

$$\text{proud } I_R \cong \frac{\Delta U_{R0}}{R_v} = 80 \text{ nA. Vliv konstant-}$$

ního závěrného proudu na ladění lze do určité míry kompenzovat nastavením; nepřijemné je kolísání závěrného proudu I_R , které vzniká změnami teploty, neboť jeho účinek nelze nastavením zmenšit. Tento vliv je nutno vzít v úvahu při návrhu teplotní kompenzace. Zde uvedené rozladění závěrným proudem varikapu se uplatňuje jak ve vstupním, tak i v oscilátorovém obvodu; pro stejný úbytek ΔU_R je tato změna horší v oscilátorovém obvodu, neboť signál oscilátoru spolu se vstupním signálem vytváří mf signál a následný mf filtr je vždy „užší“ než vstupní obvod.

Rozladění obvodu může také způsobit při nelineární napěťové závislosti diodového proudu: to, že usměrný signál, čímž

vznikne dodatečný proud, který úbytkem napětí na R_v změní podstatně ladící napětí. Tento jev nastává při malém a velkém závěrném napětí, při nichž závislost závěrného proudu varikapu na závěrném napětí je největší a při velkém oscilátorovém napětí působí rušivě. Z toho důvodu je proto výhodné zejména na dolní a horní mezi ladícího napětí udržovat amplitudu oscilátorového napětí co nejmenší.

Oddělovací odpor R_v musí být z hlediska zatěžování obvodu co největší a s ohledem na rozladování způsobené závěrným proudem varikapu co nejmenší. Proto je nutné volit vhodný kompromis. Když $C_s \gg C_0$, tedy u většiny vstupních obvodů, pak raději používáme zapojení podle obr. 51b, 51c; než zapojení podle obr. 51a, neboť se mohou lépe splnit jakostní požadavky na obvod.

Sériový odpor varikapu

V náhradním zapojení varikapu je kromě kapacity C_0 ještě sériový odpor r_0 , který je tvořen složkou závislou na závěrném napětí a složkou napěťově nezávislou. Sériový odpor r_0 (který je do několika MHz jen málo závislý na kmitočtu) vyvolává dodatečný útlum obvodu s varikapem. Vliv varikapu na útlum obvodu se dá vyjádřit jakostí varikapu

$$Q_0 = 1 : \omega C_0 r_0 \quad (22)$$

Pro jakost kmitavého obvodu platí přibližně ($C_p \ll C_0, C_s \gg C_0$)

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_0}} = \frac{Q_0}{1 + Q_0 \omega C_0 r_0} \quad (23)$$

kde Q_0 je jakost kmitavého obvodu při $r_0 = 0$ a ω_0 je jeho rezonanční kmitočet. Největší útlum obvodu varikapem je způsoben na dolním konci pásma, kde je r_0 největší. Z rovnice (23) můžeme spočítat přípustný sériový odpor r_0 při zadaných Q_0 a Q :

$$r_0 = \frac{Q_0 - Q}{Q} \frac{1}{Q_0 \omega_0} = \frac{\Delta Q}{Q} \frac{1}{Q_0 \omega_0} \quad (23a)$$

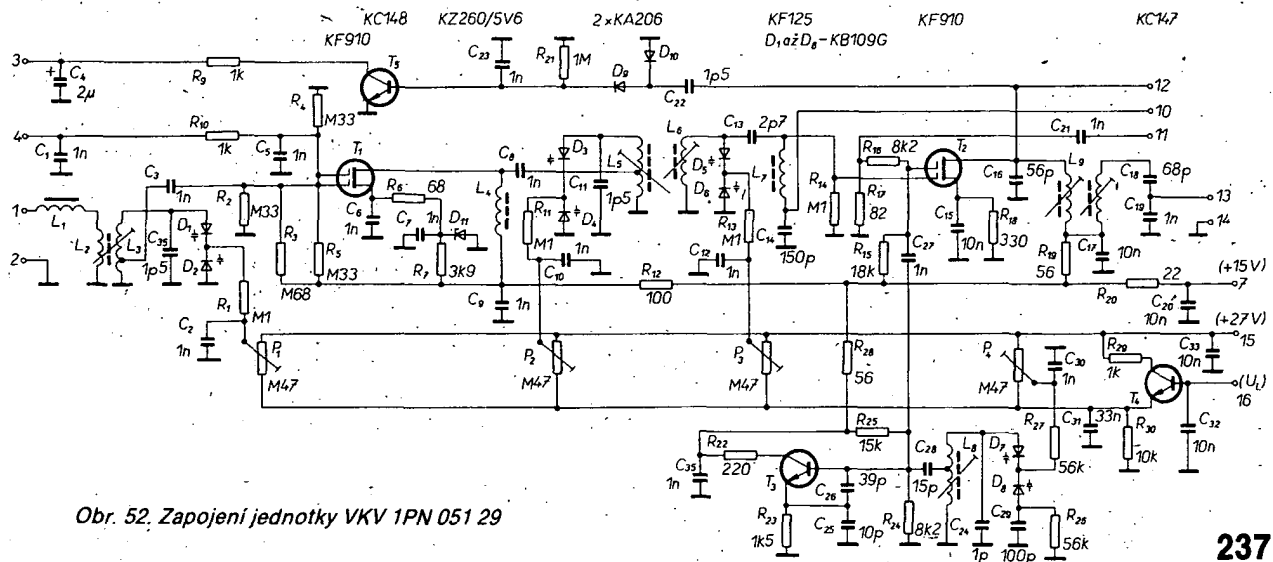
Bude-li např. $Q_0 = 80$ a změna jakosti $\Delta Q : Q = 0,5$ (jakost obvodu Q se zmenší vlivem varikapu z 80 na 5, šířka pásma na dolním konci středovlnného rozsahu bude 10 kHz), pak přípustný sériový od-

por na dolním konci středních vln ($f = 520$ kHz, $C_0 = 500$ pF) bude $r_0 \approx 3,8 \Omega$ a v pásmu 49 m ($f = 6$ MHz, $C_0 = 500$ pF) $r_0 \approx 0,3 \Omega$. Jakost obvodu kolem 50 u vstupního obvodu středních a krátkých vln je běžná a obvykle s ní počítáme. Dodatečný útlum vyvolaný sériovým odporem varikapu $r_0 \gg 1 \Omega$ má malý vliv na vstupní středovlnný obvod, kdežto velký vliv na krátkovlnný vstupní obvod. To platí pro $C_s \gg C_0$, tedy pro ladění ve velkém rozsahu. Omezíme-li ladění na dílčí rozsahy, např. 49 m v krátkovlnném rozsahu, můžeme zmenšit C_s a tak vliv varikapu na kmitavý obvod.

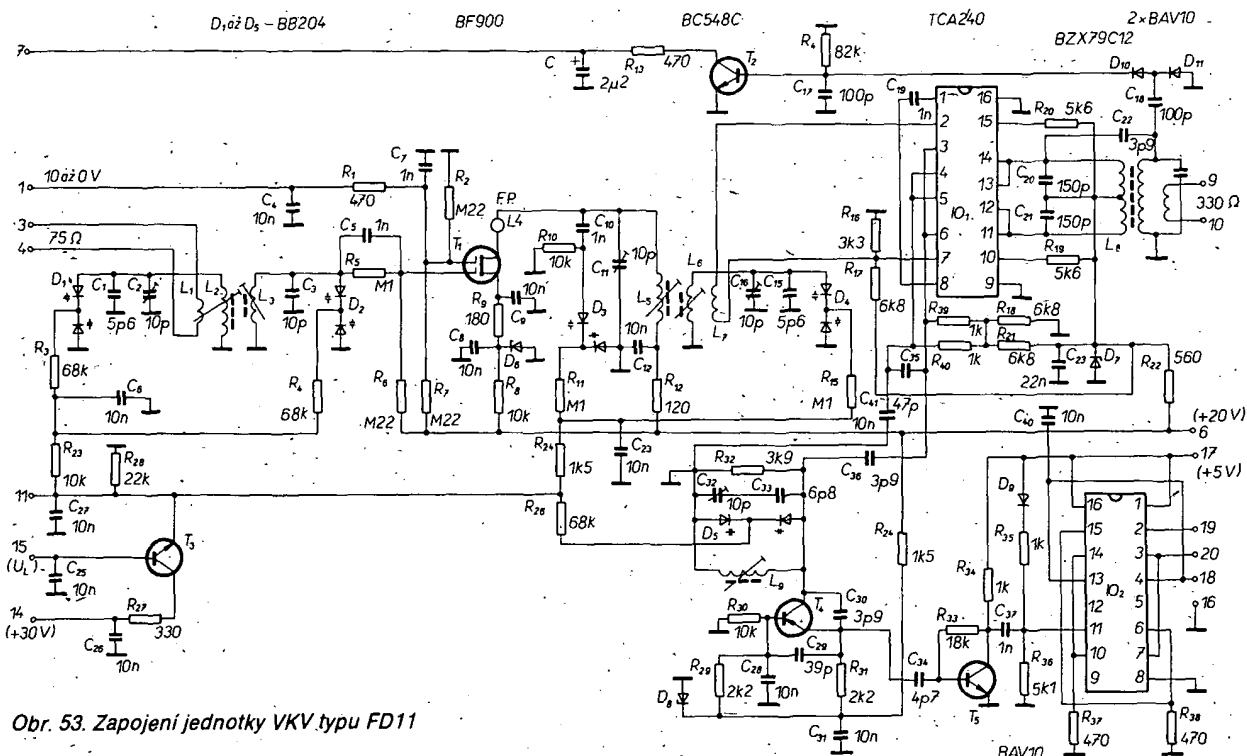
Abychom zabránili vzniku intermodulací a nelineárního zkreslení, nesmí být na varikapu v napětí velké amplitudy. Pro varikap BB212 je maximální efektivní vlnové napětí při minimálním ladícím napětí 200 mV a při středních a velkých ladících napětích 400 mV. Pro varikap KB113 je přípustné mezivrcholové vlnové napětí při $U_L = 1$ V asi 800 mV, pro $U_L = 5$ V 2,8 V a pro $U_L = 19,5$ V 17 V.

Vstupní jednotka VKV

Na obr. 52 je zapojení nové jednotky VKV TESLA Bratislava se dvěma „dvoubázovými“ tranzistory MOSFET KF910. Vstupní signál je přes L_1 veden na vstupní laděný obvod $L_2 L_3 C_{35} D_1 D_2$ a z něho přes C_3 na první řídicí elektrodu T_1 , jejíž předpětí je nastaveno děličem R_2, R_3 . Předpětí pro druhou řídicí elektrodu je nastaveno děličem R_4, R_5 , střídavě je G_2 uzemněna přes C_5 . Přes R_8 je do G_2 přiváděno napětí AVC, kterým se reguluje zisk T_1 . Aby nemohl být v žádném případě tranzistor zničen, je emitor T_1 napájen s děličem R_7, D_{11} přes R_6 . Stejněměrně je T_1 napájen do kolektoru přes L_4 . Vstupní signál z T_1 je veden přes C_8, R_{10} na primární vinutí pásmové propusti $L_5 C_{11} D_3 D_4$, které je indukčně vázáno se sekundárním vinutím $L_6 D_5 D_6$. Z něj je signál veden přes C_{13} na G_1, T_2 , jejíž předpětí je nastaveno R_{14} . Na G_2, T_2 je přes C_{27} přiveden signál oscilátoru. Předpětí pro G_2, T_2 je nastaveno děličem R_{15}, R_{16}, R_{17} . Ze spoje R_{16}, R_{17} je oscilační napětí vedeno přes C_{21} na konektor a je ho možné použít pro digitální stupnici. Emitor T_2 má malé předpětí (R_{18}). Cívka L_7 v G_1 tranzistoru T_2 je spolu s C_{14} naladěna na 10,7 MHz („odladovač“). V kolektoru T_2 je zapojeno primární vinutí mf pásmové propusti $L_9 C_{16}$. Z něj je část napětí vedena přes C_{22} na zdvojovač napětí D_9, D_{10} a dále je stejnosměrným napětím řízen zesilovač



Obr. 52. Zapojení jednotky VKV 1PN 051 29



Obr. 53. Zapojení jednotky VKV typu FD11

AVC s T_5 . Z kolektoru je napětí AVC přes R_9 vedeno na konektor. Rezistor R_9 je možné propojit s R_{10} . Sekundární vinutí mf filtru je vázáno indukčně s primárním vinutím a $L_{10}C_{18}C_{19}$ rezonují na 10,7 MHz. Ze spoje $C_{18}C_{19}$ je signál veden na mf zesilovač. Oscilátor pracuje v zapojení s uzemněným kolektorem. Oscilační obvod $L_8C_{24}D_7D_8C_{29}$ je přes C_{28} navázán do báze T_3 . Potřebná zpětná vazba je zajištěna kondenzátory $C_{26}C_{25}$. Jako padingový kondenzátor slouží C_{29} . Nedostatek dolaďovacích kondenzátorů vedl výrobce k dolaďování varikapů, jejichž kapacita je korigována trimry P_1, P_2, P_3, P_4 . Ladicí napětí pro varikapy je přivedeno do báze emitorového sledovače T_4 . Použití trimrů pro dolaďování přináší i úsporu času pro přesné nastavení, neboť postup dolaďování stačí opakovat jen dvakrát.

Zapojení poloprofesionální jednotky FD11 pro jakostní přijímače je na obr. 53. Antenní signál je přes symetrický vstup 75 Ω navázán indukčně na primární stranu pásmové propusti, čímž se zlepšuje selektivita celé jednotky VKV. Předzesilovač je osazen tranzistorem BF900, který je schopen zpracovávat i velké signály. Mezi předzesilovačem a směšovačem je druhá

pásmová propust. Feritová perla L_4 je navlečena na kolektor BF900 a zamezuje zakmitávání na velmi vysokých kmitočtech, čímž se zlepšuje celková stabilita jednotky. Ve směšovači je použit IO TCA240, který je zapojen jako dvojitý balanční směšovač. Na výstupu směšovače je mf pásmová propust s kritickou vazbou a výstupní impedancí 300 Ω . V předzesilovači je možné regulovat zisk jednotky až o 50 dB a to ss napětím 10 až 0 V, přivedeným na $G_2 T_1$. Oscilátor je zapojen jako Clappův oscilátor, má velmi dobrou stabilitu. Stabilizátor D_8 zmenšuje vliv napájecího napětí. Teplotní vliv civek, tranzistoru, spoju na desce s plošnými spoji a kapacitních trimrů je vykompenzován teplotními součiniteli paralelních a sériových kondenzátorů a také kondenzátorem ve zpětné vazbě. Drift varikapů je kompenzován emitorovým sledovačem T_3 . Volnou vazbou oscilátoru na směšovač je dosaženo malé závislosti oscilačního kmitočtu na amplitudě vstupního signálu. Na sekundární stranu mf pásmové propusti je připojen zdvojevač napětí, kterým je řízen tranzistor pro vnitřní regulaci AVC. Spojením vývodů 1 a 7 na konektoru jednotky VKV nasadí regulace AVC při

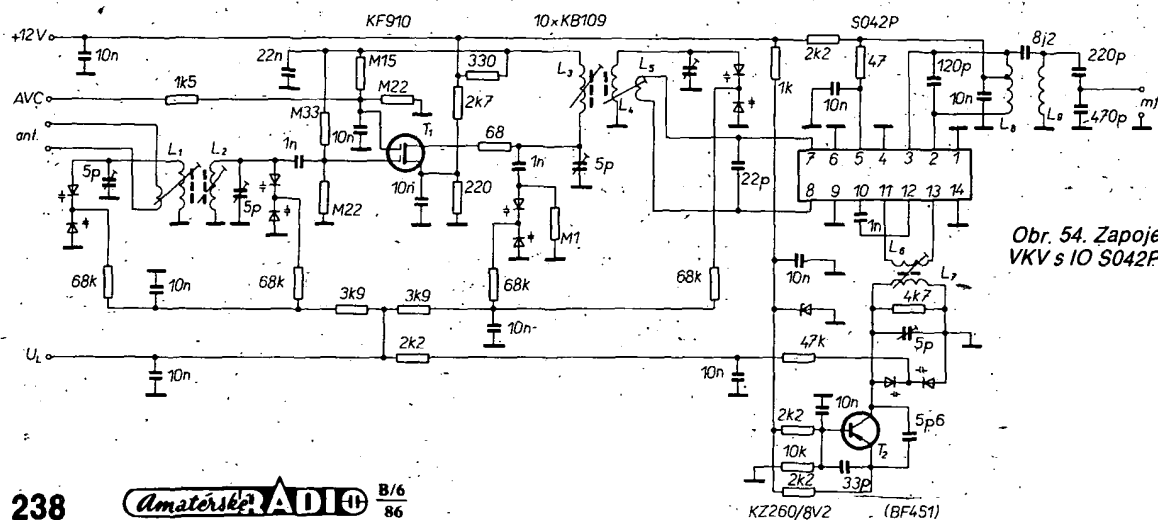
vstupním signálu 65 dB μV a výstupní napětí bude téměř konstantní až do úrovně 115 dB μV vstupního signálu. Není-li zapojen vývod 7, pracuje FD11 s maximálním ziskem. V FD11 je vestavěn dělič kmitočtu 1:4, z něhož může být napájena digitální stupnice nebo syntezátor. FD11 má zisk 36 až 40 dB, šumové číslo 4,8 až 6 dB a potlačení nežádoucích signálů minimálně 80 dB. Výstupní mezivrcholové napětí z děliče kmitočtu je 650 mV na impedanci 470 Ω .

Na obr. 54 je zapojení jednotky VKV, u níž je místo směšovače s TCA240 zapojen směšovač s SO42P (Siemens), který je možné nahradit IO UL1042N z PLR. Sekundární strana vf pásmové propusti je indukčně navázána přes L_5 na vstup IO a signál oscilátoru je veden přes L_6 do IO. Na výstupu IO je připojena mf pásmová propust.

Na obr. 55 je zapojení jednotky VKV s moderním IO TDA 1574 (Valvo). V IO je vestavěn dvojitý balanční směšovač, oscilátor, obvod AVC a jednostupňový mf zesilovač.

Použití balančních směšovačů přináší několik výhod:

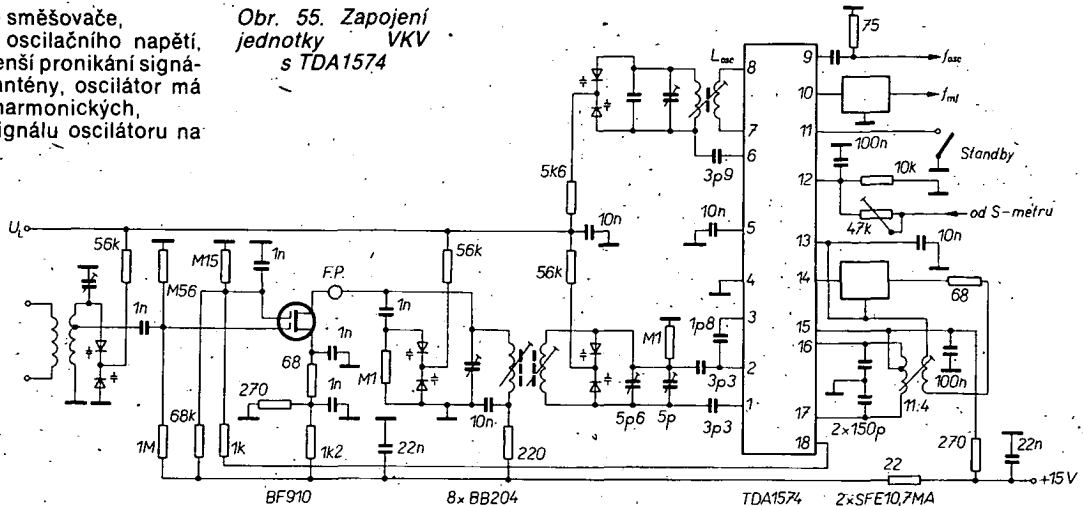
- dobré potlačení signálu mf kmitočtu na



Obr. 54. Zapojení jednotky VKV s IO S042P (UL1042N)

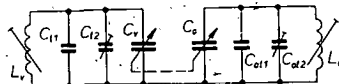
vstupu balančního směšovače, potřebu menšího oscilačního napětí, z čehož vyplývá menší pronikání signálu oscilátoru do antény, oscilátor má pak málo vyšších harmonických, dobré potlačení signálu oscilátoru na vstupu směšovače.

Obr. 55. Zapojení jednotky VKV s TDA1574



Návrh jednotky VKV spočívá ve volbě zapojení, navržení správných pracovních bodů aktivních prvků a v návrhu laděných obvodů. U dvoupásmových jednotek VKV se obvykle dělá dvoubodový souběh (stejně jako v pásmu KV). Při návrhu mf výstupního filtru musíme dbát na to, aby výstupní odpor směšovače zbytečně nezatěžoval tento filtr a tak nerozšiřoval šířku mf pásma, což zhoršuje parametry jednotky.

Jak již bylo uvedeno, principem zapojení superhetu je převedení proměnného kmitočtu vstupního signálu na konstantní tzv. mf kmitočet (při ladění přijímače). Proto musí být vstupní signál směšován se signálem oscilátoru, který se mění v závislosti na naladění vstupního obvodu tak, že rozdílem obou proměnných kmitočtů bude vždy daný mf kmitočet. Tuto vlastnost superhetu nazýváme souběhem. Z konstrukčních důvodů nelze ovšem zajistit přesný souběh vstupního a oscilátorového kmitočtu v celém přijímaném pásmu příslušného rozsahu (SV, DV, KV, VKV), takže se obvody při nastavování ladí tak, aby se zcela přesného souběhu dosáhlo na několika kmitočtech přijímaného rozsahu. Pro KV a VKV se dělá dvoubodový souběh a pro SV a DV tříbodový souběh. Na obr. 56 je zapojení vstupního a oscilátorového obvodu i s o-



Obr. 56. Zapojení pro stanovení souběhu

značením součatek, které jsou použity při následujícím výpočtu. U dvoubodového souběhu je kondenzátor C_p nahrazen zkratem. Pro výpočet souběhu musíme znát následující parametry: minimální kmitočet přenášeného pásma, f_{\min} ; maximální kmitočet přenášeného pásma, f_{\max} ; mezifrekvenční kmitočet, f_{mf} ; maximální kapacitu vstupního a oscilátorového ladícího kondenzátoru, $C_{v \max}$, $C_{o \max}$; minimální kapacitu tohoto kondenzátoru $C_{v \min}$, $C_{o \min}$. Při dvoubodovém souběhu postupujeme takto:

$$f_{o \max} = f_{\max} \pm f_{mf}$$

$$f_{o \min} = f_{\min} \pm f_{mf}$$

$$p = f_{\max} / f_{\min}, K = f_{o \max} / f_{o \min}$$

$$C_1 = \frac{C_{v \max} - p^2 C_{v \min}}{p^2 - 1}$$

$$L_v = \frac{1}{\omega_{\max}^2 (C_1 + C_{v \min})} = \frac{1}{\omega_{\min}^2 (C_1 + C_{v \max})}$$

$$C_{ot} = \frac{C_{o \max} - K^2 C_{o \min}}{K^2 - 1}$$

$$L_o = \frac{1}{\omega_{o \max}^2 (C_{ot} + C_{o \min})} = \frac{1}{\omega_{o \min}^2 (C_{ot} + C_{o \max})}$$

kde $\omega_1 = 2\pi f_1$, $\omega_s = 2\pi f_s$, $\omega_2 = 2\pi f_2$.

Kapacita ladícího kondenzátoru při stejné kapacitě vstupní a oscilátorové sekce:

$$C'_1 = C_{1v} - C_{t1}, \quad C'_s = C_{sv} - C_{t1},$$

$$C'_2 = C_{2v} - C_{t1}$$

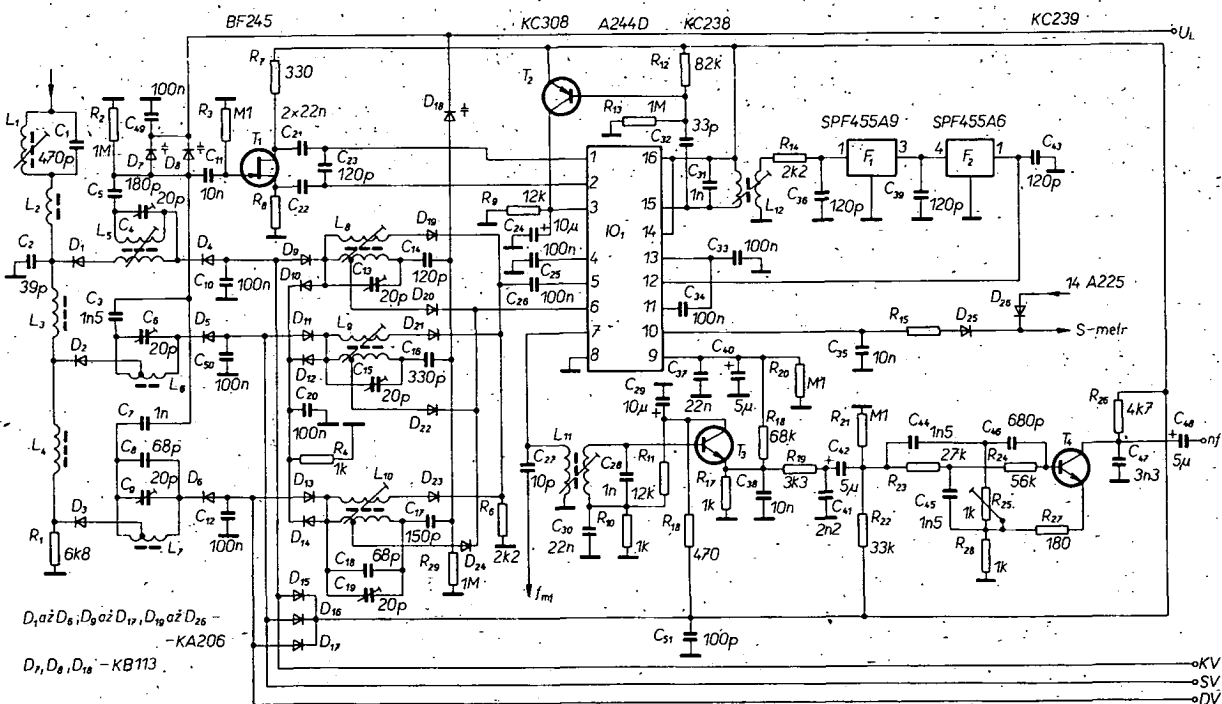
Pokud se kapacita oscilátorového kondenzátoru liší od kapacity vstupního, je třeba zjistit jeho kapacitu při daných kapacitách vstupního ladícího kondenzátoru.

Pro výpočet si zavedeme pomocné symboly:

$$K'2 = \frac{f_{o2}^2 (f_{o2}^2 - f_{o1}^2)}{f_{o1}^2 (f_{o2}^2 - f_{o3}^2)}, A = C'_1 - C'_s,$$

$$B = C'_s - C'_2,$$

kde za C'_1 , C'_s a C'_2 při stejné kapacitě vstupní a oscilátorové sekce ladícího kondenzátoru dosazujeme hodnoty vypočítané



Obr. 57. Zapojení třírozsahového přijímače AM

né a při rozdílných kapacitách ladícího kondenzátoru změřené kapacity oscilátorové sekce ladícího kondenzátoru

$$C_p = \frac{K' \cdot C' \cdot B - C' \cdot A}{A - K' \cdot B}$$

Dále si spočítáme cívku oscilátoru

$$L_{01} = \frac{1}{C_{01} - C_{02}} \left(\frac{1}{\omega_{02}^2} - \frac{1}{\omega_{01}^2} \right)$$

$$L_{02} = \frac{1}{C_{02} - C_{01}} \left(\frac{1}{\omega_{01}^2} - \frac{1}{\omega_{02}^2} \right)$$

a indukčnost oscilátorové cívky bude:

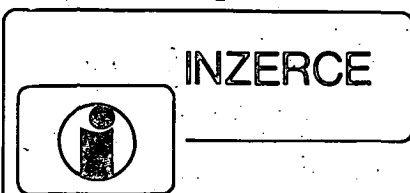
$$L_0 = \frac{L_{01} + L_{02}}{2}$$

Celková dolaďovací kapacita oscilátorového obvodu:

$$C_{001} = 1 : \omega_{01}^2 L_0, C_{002} = 1 : \omega_{02}^2 L_0,$$

a skutečná dolaďovací kapacita bude:

$$C_{01} = \frac{C_{01} + C_{01s} + C_{012}}{3}$$



Inzerce přijímá osobně a poštou Vydavatelství Naše vojsko, inzertní oddělení (inzerce AR), Vladislavova 26, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51-9, linka 294. Uzávěrka tohoto čísla byla dne 19. 9. 1986, do kdy jsme museli obdržet úhradu za inzerát. Neopomeňte uvést prodejní cenu, jinak inzerát neuveřejníme. Text inzerátu pište čitelně, aby se předešlo chybám vznikajícím z nečitelnosti předlohy.

PRODEJ

SONY receiver 2x 35 W (3900), tuner - RK 83 (290), TV zosilovač 2x BFR (290), 4 ks žiarivky 15 W Lila (a 25), 4 ks MH7489 (a 30), 5 ks doska spín. tr. (asi 40 ks) (a 25). V. Račanský, Nábřežná 14, 851 01 Bratislava.

MP 80-40A, tp. 1,5 (150), tah. p. 2x 22k/N miniat., ljc. Hitachi, 10 ks (400), KFY34 5 ks (a 13), 20 m CuL 2,0 (60). Koupím 4x ARO 6608, TC 215 M15 a M68. J. Prchal, Gollova 10, 460 01 Liberec IV.

TI 58C bezchybná, málo používaná, s přísl. a orig. + CS návodem (2400). M. Lapka, Vlt. února 642, 708 00 Ostrava.

MDA2020 větší množství (32). Lad. Szilágyi, Bernolákovo nám. 30, 940 01 Nové Zámky.

Aparatura COMBO git. 50 W kop. DYNACORD

(3000), equalizér 9 pásmem s otoč. pot. (1000), nedokonc. gitarový syntetizér (AR 1/86) chýbá len MHB4066 + 4 ks 1458 (1000), Zos. TW 120 (800), čas. rele RTs-61, 0,3 s až 60 h (900). Pavol Macko, SNP 315, 059 38 Štrba.

České překlady manuálů TI-59, HP-41C, Spectrum 48 Kb + přísl., Turbo Pascal, CP/M (70, 140, 220, 190, 80). A. Levová, Bezručova 33, 352 01 Aš.

Konc. zes. TW 120 - 2x 60 W (1200). Ing. Stanislav Staněk, 690 02 Nikolčice 132.

BF900, BFR90, BFR91, BFR96, BC161 (90, 80, 90, 130, 140). H. Dvořáková, 53371 Choltice č. 69.

ZX 81 + 16 K RAM (2400 + 1200), Sord M5 + Basic I (5900), český výpis ROM Spectrum, ZX'81 (100, 50), I2716, I8085 (120, 200) a jiné. Opravím Spectrum. Ing. V. Daněček, Kochmanova 383, 109 00 Praha 10.

CE 121 pro PC 1211 (600). M. Kaplan, 5. května 39, 140 00 Praha 4.

ZX-81 + 16 Kb RAM, nová klávesnice, jemná grafika, originál i český manuál, výpis ROM, mnoho programů (5000). I. Horsák, Ježkova 3, 130 00 Praha 3, tel. 27 39 804.

Reprobedny 4 Ω, 120 I, osazení ARO 835, ARO 667, ART 481, černá koženka (2500). L. Holeček, U družstva Repo 8, 140 00 Praha 4.

AR A 55-84, AR B 76-81 (65, 35) i jednotlivě. K. Urban, Vyžlovská 50, 100 00 Praha 10.

SHF GaAs Mosfet pro 12 GHz, šum 2,0 dB (2400). J. Novák, Nuselská 24, 140 00 Praha 4.

Amat. monosting synt. mech. nedok. + klávesy + schéma (500), generátor větru (50), mgf ZK 120 na souč. (50), pl. spoje S 203-4, P 220-2, K 20, N 07 (50 % ceny), různé IO, TR aj. Seznam zašlu. J. Voříšek, Okružní 695, 360 17 Karl. Vary 17.

REVOX B 77 čtvrtstopý 9/19 (28 500). Miloš Zajdl, Pařížská 12, 110 00 Praha 1.

ATARI 130 XE 128Kb RAM + Datarecorder XC 12 + zdroj, manuál něm. (19 800), interface 1 + 2, joystick pro Spectrum (5000), elektronkový voltmetr (100), PU 120 (200), univ. měř. přístroj SSSR (400), IO 2764-250, 4116-200, 4164-200, 6116-200, Z80A CPU (450, 240, 290, 400, 310). V. Linhart, Ostrovská 7, 360 10 K. Vary, tel. 449 25.

Měř. přístroj Vielfachmesser III (900). Koupím ARN 6604. J. Klein, Sidliště 593, 664 61 Rajhrad.

Dynamické paměti 64 Kb typ M5K 4164 AND, 10 ks (1000). V. Hort, Kroupova 8, 625 00 Brno. **ZX Spectrum PLUS** - nový nepoužitý, originál. balení (7500). T. Tůmová, V Cibulkách 9, 150 00 Praha 5-Košíře.

IFK 120 4 ks (a 90). Ing. Josef Kůra, Konrádova 11, 628 00 Brno.

Cuprexit (dm² 5 jednostr., 8 oboustr.). M. Lhotský, Gottwaldova 470, 431 51, Klášterec n. O.

Barevný TVP C-401 (2000), slabá obrazovka. Ing. B. Lacina, Svazarmovská 1693, 756 61 Rožnov p. R.

BFT66 (140), BFR90 (80), BFR91 (90), BF981 (65), BF 960 (60), BFY90 (60), SFE10, 7 (65). J. Šíma, Miškovecká 5, 040 01 Košice.

Výbojky na blesk, stroboskop aj. zábleskové efekty - vše nové - IFK 120 (a 100), tranzistory GT313A (a 8), GT346 A, B (a 15, 10), BFR90 (a 90), BF960 - 800 MHz (a 85). Koupím RX Globephone 8008 DX nebo jiný podob. kom. RX jen nový nebo zánovní. A. Chládková, Belojanisova 2, 787 01 Šumperk.

RA 1930-64, B 74-85 (3-4), Eltechnik 68-85 (2), Č. př. Baudyš váz. (200) a jiné odb. publikace - levné. Wattm. 1800 W - 120 - 240 - 380 V, mA 0,06 - 0,24 - 0,6 - 2,4 - 12 - 60 mA. Omega II (600). Cu smalt hed. bavl. Ø 0,01 - 0,10 - 0,15 - 0,18 - 0,2 - 0,25 - 0,3 - 0,55. Stará Cu 12 x 3,5 - 20 x 1,5 mm. Cekas Ø 0,12, trafo 2000-W/24 - 220-V. Elektronky RGN1064 - RV12P400 - RL12P10 - AZ12, EFM11 - ECH11 - RG12D60 - RV2, 4P70 (a 10). Koupím RV12P2000. Havelka Fr., 294 71 Benátky n. J. I 140, tel. 91 61 43.

KOUPÉ

Tiskárnu pro ZX Spectrum - Seikosha, Epson, popř. jinou, 8255, LED obdélníkové, ICL, ICM. R. Staffa, Úvoz 13, 602 00 Brno.

Programy na ATARI 800 XL popř. výměním. Miroslav Steiner, Řijn. revoluce 798, 334 41 Dobřany.

AR B4/85, AR A11/68, 1/71, 1/74. J. Zumr, Rudé armády 369, 289 22 Lysá n. Labem.

IO typu SO42P, SAA1070, SAA1058, SDA5680A. Rozumně. V. Čada, Okrajová 41/1414, 736 01 Havířov Bludovice.

Basic G (max. 1200), EM-5 (32 Kb paměť - cenu respektuji) na Sord M5. Ing. Žák Pavel, Kuldova 13, 615 00 Brno.

Spectrum 48 Kb, MH7400, 04, 86, 96, KA501, 226, KT505, 714. A. Levová, Bezručova 33, 352 01 Aš.

A225D, BF910, 4 Kb 1096, SO42P, nehrané kazety CC, hifi sluchátka. Jan Fiala, Gagarinova 502, 674 01 Třebíč.

Tiskárnu pro ZX - 81, normal papír, paměť 16 Kb a 32 nebo 64 Kb. J. Procházka, Jánského 14, 772 00 Olomouc.

UAA170, C520D, A277D. Kaňa V., 735 41 Petřvald 1369.

Trafo síťové, zesilovače Mono 50. Jar. Foukal, 687 54 Bánov u Uh. Brodu 596.

VÝMENA

Osciloskop BM 430 se všemi zásuvnými jednotkami za počítač Spectrum + nebo Atari 800, 130 nebo prodám. Prodám kameru prům. TV (3100). I. Jarošová, Švédská 35, 150 00 Praha 5.

RŮZNÉ

Plánek ke Cassette deck Grundig CN 1000 Super-HiFi, kdo zapůjčí? Spěchá - vrátím. R. Saňák, Koněvova 212/48, 130 00 Praha 3. **Zaujímá** Vás družicový příjem? Poradím, pomůžem. Ing. Jan Luterán, Prostejovská 7, 080 01 Prešov, tel. 489 40.

Skupina „Tenké vrstvy“ u FVS JČMF pořádá ve dnech 21. až 25. 4. 1987

6. čs. konferenci o tenkých vrstvách.

Tématika konference je zaměřena na

1. metody přípravy a technologii tenkých vrstev,
2. fyzikální vlastnosti a diagnostiku tenkých vrstev,
3. nové aplikace tenkých vrstev.

Přihlášky a informace podává

Marta Šimečková
FZÚ ČSAV
Na Slovance 2
180 40 Praha 8

tel. 35 42 41 až 9, I. 93